




جمهورية مصر العربية
وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة

# الطاقة الكهروشمسية

# Energy Photovoltaic







مراجعة
دكتور مهندس
محمد صلاح السبكى

دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد

بسم اللّه الرحمن الرحيم

" قالوا سبحانك لاعلم لنا إلا ماعلمتنا إنك أنت العليم الحكيم "

صدق اللّه العظيم

# مقدمة

"إن ما حدث في مصر هو انطلاقة لعصر جديد من الطاقة في التاريخ"

تلك كانت المقولة الشهيرة للمخترع الامريكي (فرنك شومان) الذي أنشأ أول محطة طاقة شمسية فى العالم بحي المعادي بالقاهرة - مصر، حيث استخدمت الطاقة الشمسية لتشغيل محطة لرفع المياه بقوة ١٠٠ حصان وتضخ ٦٠٠٠ جالون من المياه في الدقيقة الواحدة أي ٢٧٢٦٠ لترا لري حقول القطن.

وفي العصر الحديث تُعتبر الطاقة الكهربائية بشكل عام والطاقة المتجددة بشكل خاص قاطرة التقدم والتنمية ، ولهذا حظيت مشروعات الطاقة المتجددة باهتمام عالمي متزايد، نظرا للفوائد الإقتصادية التي توفرها، مثل المساهمة في الوفاء بالطلب المستقبلي للطاقة الكهربائية والمساهمة في خفض غازات الإحتباس الحراري ومواجهة التغير المناخي وخفض كميات الوقود الأحفوري المستخدم في انتاج الطاقة الكهربائية، بالإضافة إلى المساهمة في التنوع الاقتصادي وتوفير فرص العمل وانعاش الاقتصاد.

وقد أولت وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة المصرية اهتماما خاصا بالطاقات المتجددة، حيث اعتمدت استراتيجياتها على تنوع مصادر الطاقة والتوسع في استخدام الطاقة المتجددة وترشيد استخدام مصادر الطاقة التقليدية.

وتتمتع مصر بمميزات جغرافية ومناخية حيث أنها إحدى دول منطقة الحزام الشمسي الأكثر مناسبة وملاءمة لتطبيقات وانتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، مما يتيح فرص الاستثمار في مجال الطاقة الشمسية، ولتعظيم الاستفادة من هذه المصادر، فقد تم وضع استراتيجية للطاقة المتجددة تستهدف الوصول بنسبة مساهمة الطاقة المنتجة من الطاقات المتجددة إلى ٢٠% من إجمالي الطاقة الكهربائية المنتجة في مصر عام ٢٠٢٢، وتصل السعات المستهدفة لمشروعات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية خلال تلك الفترة إلى حوالي ٢٩٠٠ ميجاوات.

ولجذب مزيد من الاستثمارات وتشجيع القطاع الخاص على المشاركة في تنفيذ مشروعات انتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة للمساهمة في تنويع مزيج الطاقة في مصر وتحقيق استراتيجية الطاقة المتجددة، تم تبني برنامج متكامل لتشجيع دخول القطاع الخاص في تنمية مشروعات الطاقة المتجددة بصفة خاصة والطاقة بصفة عامة، من خلال اقرار عدة قوانين منها تعديل قانون إنشاء هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة ليسمح للهيئة بإنشاء شركات مساهمة بمفردها أو مع شركاء آخرين لتنفيذ وتشغيل مشروعات الطاقة المتجددة، بالإضافة إلى صدور القانون رقم ٢٠٣ لسنة ٢٠١٤ بشأن تحفيز انتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة من خلال أربع آليات تشمل المناقصات التنافسية بنظام التصميم والتوريد والانشاء + التمويل EPC+ Finance أو بنظام البناء والتملك والتشغيل BOO ، وآلية التعاقدات المباشرة ما بين منتج الكهرباء والمستخدم النهائي ، بالإضافة إلى آلية تعريفة التغذية لإنتاج الكهرباء من مشروعات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

وفي اطار هذه الاليات، يجري حاليا تنفيذ العديد من مشروعات انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية سواء المرتبطة بالشبكة أو المعزولة عنها.

كما يصاحب هذا التطور والتقدم، الاعتناء والاهتمام بتدريب وتوعية العاملين بقطاعات الكهرباء بكل ما يتعلق بمجالات وتطبيقات الطاقات المتجددة.

وفي النهاية أتمنى أن تتحقق الغاية والهدف المرجو من إصدار هذا الكتاب "الطاقة الكهروشمسية" في زيادة المعرفة وتعزيز القدرات والخبرات والمساهمة في تنشيط حركة البحث والتدريب لجميع العاملين في مجال الطاقة الشمسية.

والله الموفق لما فيه الخير لمصرنا "أرض الشمس" .

**وزير الكهرباء والطاقة المتجددة**
**دكتور مهندس / محمد شاكر المرقبى**

# مقدمة

تتمتع مصر بمميزات جغرافية ومناخية حيث انها إحدى دول منطقة الحزام الشمسي الأكثر مناسبة لتطبيقات وانتاج الطاقة الشمسية، ولقد اظهرت نتائج أطلس شمس مصر أن متوسط الاشعاع الشمسى المباشر ما بين ٢٠٠٠ : ٣٢٠٠ ك.و.س / م٢ / السنة ، كما يتراوح معدل سطوع الشمس بين ٩ : ١١ ساعة / اليوم ، مما يتيح فرص الإستثمارات في مجالات الطاقة الشمسية المختلفة .

ونظرا لأهمية وجود الطاقات الجديدة والمتجددة ، سواء طاقة الرياح او الطاقة الشمسية ، فى مزيج الطاقة فى مصر وما صاحبها من تطورات سريعة ومستمرة فى تكنولوجيات وتطبيقات الطاقة الشمسية بالاضافة الى نتائج البحوث المستمرة والمتقدمة فى هذا المجال ، كان اصدار قانون تعديل إنشاء هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة الذى شجع على إنشاء مشروعات من مصادر الطاقة المتجددة من خلال ٤ آليات وهي:

- المشروعات الحكومية من خلال عقود EPC
- المناقصات التنافسية بالإعلان عن مناقصات دولية للقطاع الخاص بنظام البناء والتملك والتشغيل BOO ومن خلال ذلك تم الإعلان عن طرح ٣ مناقصات تنافسية جديدة لإنشاء مشروعات بقدرات ٥٥٠ ميجا وات من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بغرب النيل.
- آلية منتج الطاقة المستقل IPP التي تسمح للمستثمر ببيع الطاقة الكهربائية المولدة من مشروع ، مباشرة للمستهلك من خلال الشبكة القومية مقابل استخدام الشبكة
- الإعلان عن إنشاء مشروعات لتوليد ٤٣٠٠ ميجاوات من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بنظام تعريفة التغذية FIT .

بالإضافة إلى ذلك فقد قامت الشركة القابضة لكهرباء مصر وشركاتها التابعة بتبني مشروع إنشاء محطات طاقة شمسية من الخلايا الفوتوفلتية أعلى أسطح المباني، حيث تم:

- تركيب وتشغيل عدد ٣٩ محطة بإجمالي قدرة ١١٣٥ ك. وات
- جاري تنفيذ عدد ٤٨ محطة بإجمالي قدرة ١٤٥٧ ك.و

هذا بالإضافة إلى قيام المشتركين عن طريق نظام تعريفة التغذية بتنفيذ ٣٧ محطة بإجمالي قدرة ١٤٠٧ ك.و وربطها بالشبكة الموحدة ومزمع تنفيذ ٤١ محطة بإجمالي قدرة ٣٧٠٠ ك.وات.

وقد دفع كل ما سبق ذكرة الى اعداد كتاب عن "الطاقة الكهروشمسية "بكل ما يتعلق بأساسيات ونظريات وتطبيقات الطاقة الشمسية ، كى يكون تحت أيدى المهندسين والفنين المشتغلين بهذا المجال . ومن هنا واستشعارا لأهمية ذلك العمل فقد سعدت بدعوتى لمراجعة ذلك الكتاب راجيا أن يسهم جهدى حتى يخرج الكتاب فى الصورة المأمولة .

يتناول الكتاب : تاريخ الطاقة الشمسية، أساسيات الفوتوفلتية، مكونات الأنظمة الفوتوفلتية ، تصميم وتركيب وصيانة المحطات الفوتوفلتية، تحليل التكاليف والفوائد والتقييم الإقتصادي، حسابات متوسط الطاقة المنتجة، تطبيقات عملية: إنارة الشوارع بالطاقة الشمسية وتركيب مضخات المياه بأستخدام الطاقة الشمسية.

وفى ختام هذه المقدمة كم نود أن يحقق هذا الكتاب الفائدة المستهدفة فى هذا الميدان.

**الرئيس التنفيذى**
**هيئة تنمية وإستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة**
**دكتور مهندس/ محمد صلاح السبكى**

# مقدمة المؤلف

تعتبر الطاقة المتجددة من المجالات والتخصصات العلمية الحديثة، والتي يعود تاريخ الإهتمام بها كمصدر للطاقة في بداية الثلاثينات، حيث تركز الإهتمام والتفكير في كيفية تحويل طاقة الشمس إلى طاقة كهربائية ثم تطور استخدامها في مجالات عديدة مثل: الاتصالات – النقل- الإنارة- توليد الطاقة الكهربائية و اخيرا الطائرة الشمسية.

ولقد حظي موضوع الطاقة الشمسية اهتمام المتخصصين والرأي العام وكثرت الموضوعات والدراسات التي تناولت عناصره المختلفة، وتماشيا مع هذا الإهتمام كان هذا الكتاب والذي يحتوي على عدد ٢٠ باب هي:

تاريخ الطاقة الشمسية – حساب الإشعاع الشمسي – أساسيات الفوتوفلتية - مكونات وأنواع الأنظمة الفوتوفلتية وكيفية اختيارها - الأجهزة المساعدة- تصميم وتشغيل وصيانة الأنظمة الفوتوفلتية- الظل على الخلايا الفوتوفلتية- تحليل التكاليف/الفوائد والتقييم الإقتصادي- متوسط الطاقة المنتجة سنويا- إنارة الشوارع بالطاقة الشمسية- مضخات المياه بالطاقة الشمسية.

وقد قام بمراجعة الكتاب السيد د.م/محمد صلاح السبكي رئيس هيئة تنمية الطاقة الجديدة والمتجددة والذي أضفى قيمة عظيمة للكتاب وساعد سيادته في اخراج الكتاب بالصورة التي ظهر بها.

كما أتقدم بالشكر للسيد الفاضل د.م/ محمد شاكر المرقبي وزير الكهرباء والطاقة المتجددة على تفضل سيادته بمقدمة الكتاب وعلى تشجيعه الدائم على تنشيط حركة البحث العلمي والتدريب في جميع المجالات المتعلقة بالطاقة الكهربائية والطاقات المتجددة.

والحمد لله في الأولى والآخرة،

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم،

**د.م/ كاميـــليا يوسف**      الاسكندرية في اكتوبر ٢٠١٦

# محتويات كتاب
# الطاقة الكهروشمســـــية

# الباب الاول

# تاريخ الطاقة الكهروشمسية (الفوتوفولتية)

# PV energy history

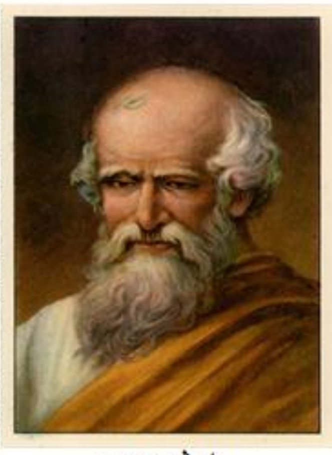
استخدمت الطاقة الشمسية بطرق مختلفة منذ القرن السابع قبل الميلاد ، حيث عظمت الأشعة الشمسية واستخدمت لإنشاء النار؛ وفي القرن الثالث قبل الميلاد استخدم الإغريق والرومان "مرايا الحرق" (burning mirrors) ككشافات ضوئية لأغراض دينية. بينما في القرن الثاني قبل الميلاد استخدم ارشميدس (Archimedes) الخصائص الإنعكاسية لمعدن النحاس الأصفر لإشعال النار في السفن الرومانية المهاجمة لسيراكوز (Syracuse) حيث أحرق الأسطول الحربي الروماني في حرب عام ٢١٢ ق.م عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية .

يوضح شكل (١) غلاف النسخة اللاتينية من كتاب ابن الهيثم المناظر، التي تظهر كيف أحرق أرخميدس سفن الرومان عند مهاجمتهم لسيراكوز باستخدام المرايا المقعرة.

وفي العصر البابلي كانت نساء الكهنة يستعملن آنية ذهبية مصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار . كما قام علماء أمثال تشرنهوس (Chernhos) وسويز (Suez) ولافوازييه (Lavoisier) وموتشوت (Mochoc) وأريكسون (Ericsson) وهاردنج (Harding )وغيرهم باستخدام الطاقة الشمسية في صهر المواد وطهي الطعام وتوليد بخارالماء وتقطير الماء وتسخين الهواء .

يوضح شكل (٢) صورة أنطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier) (١٧٤٣ - ١٧٩٤)







شكل (١) صورة ارشميدس ومنظر لكيف أحرق أرخميدس سفن الرومان

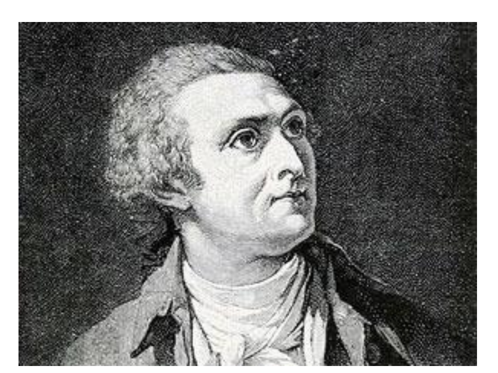




شكل (٢) أنطوان لافوازييه (Antoine Lavoisier)
(١٧٤٣ - ١٧٩٤)

ركزت جميع الإستخدامات الأولية للطاقة الشمسية علي الحرارة والتصميم الشمسي السلبي (Passive Solar). تغطي الطاقة الشمسية السلبية جميع الأبواب والشبابيك لكسب أكبر قدر من الحرارة في المباني ، للإستفادة منها ليلا.

في عام ١٧٦٧ تم وضع تصور لأول "خلية تجميع للطاقة الشمسية" (Solar Collector Cell) في العالم وشيدت من قبل العالم السويسري حورس دي سويس (Horace Benedict de Saussure) ،شكل (٣) ، ووصفت بأنها عبارة عن صندوق معزول بفتحات وثلاثة طبقات من الزجاج ، وتعمل الخلية علي تعظيم حرارة الشمس لدرجة حرارة تتعدي ٢٣٠ درجة فهرينهيت واستخدمت بطرق متعددة.



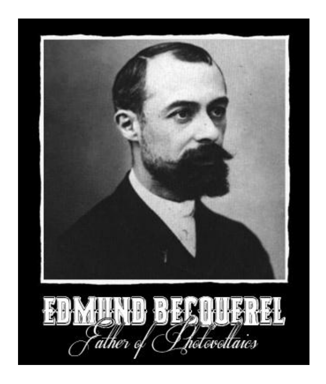
شكل (٣) العالم السويسري حورس دي سويس

**تطور تاريخ الطاقة الكهروشمسية (الفوتوفولتية):**

تعود بداية التقنية الضوئية إلي أكثر من ١٦٠ عاما ، حيث بدأ اكتشاف الأساسيات الأولية لهذا العلم في عام ١٨٣٩ ، ولكن وتيرة التقدم تسارعت في القرن العشرين.

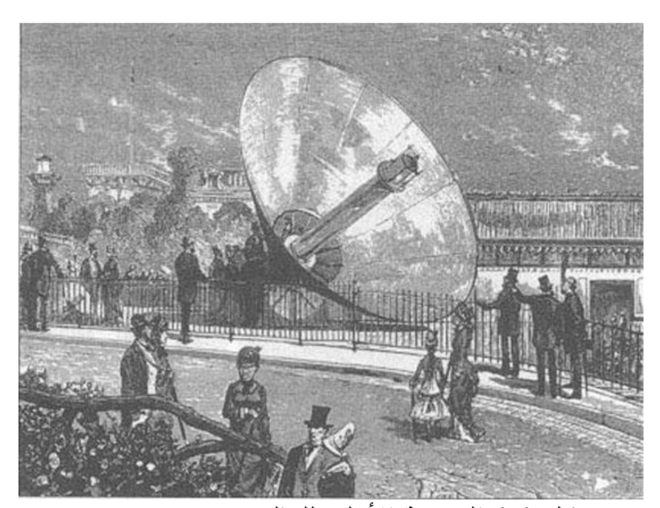
- في عام ١٨٣٩ تم تجربة الأقطاب المعدنية الموضوعة في الالكتروليت (Electrolyte) بمعرفة الفيزيائي الفرنسي الكسندر ادمون بيكريل (Alexander Edmond Becquerel) (البالغ من العمر ١٩ عام) ، **والذى أطلق عليه أبو الفوتوفلتية** ، شكل (٤) ، حيث لاحظ الظاهرة الفيزيائية التي سمحت لتحول الضوء الي كهرباء.

- فى عام ١٨٦١ قام العالم الفرنسى Augustin Mouchot ، شكل (٥) ، فى مصر باختراع المحرك البخارى الأول فى العالم المدعوم بالكامل بالطاقة الشمسية.





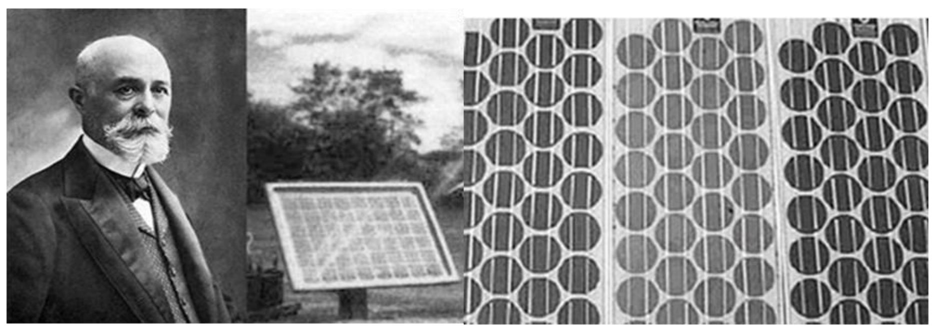

شكل (٤) الكسندر ادمون بيكرل " ابو الفوتوفلتية "



شكل (٥) التجربة الأولى للعالم Auguste Mouchout

- في عام ١٨٧٦ اكتشف كل من وليام آدمز وريتشارد داي (William Adams & Richard Day) التوصيلية الضوئية للسيليكون ، كأول مادة فوتوفلتية صلبة .

- في عام ١٨٨٣ وصف المخترع الامريكي تشارلز فريتس (Charles Fritts)، شكل (٦) ، الخلايا الشمسية الأولي المصنوعة من رقائق السيلينوم (Selenium Wafers)، وبكفاءة ١ %



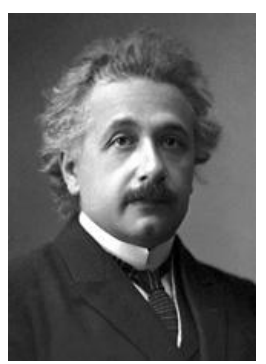
شكل (٦) الخلايا الشمسية الأولي المصنوعة من رقائق السيلينوم والمخترع الامريكي تشارلز فريتس

- فى عام ١٨٨٨ بدأ الفيزيائى الروسى الكسندر ستولتوف ( Aleksandr Stoletov)(شكل (٧)) أنشاء اول خلية فوتوفلتية تعتمد أساسا على التأثير الكهروضوئى الخارجى والمكتشف بمعرفة هينرتش هرتز (Heinrich Hertz) فى بداية عام ١٨٨٧ ( أثناء التأثيرات الفوتوفلتية ، تنبعث الالكترونات من الصلب أو السائل أو الغاز عند امتصاص الطاقة من الضوء )



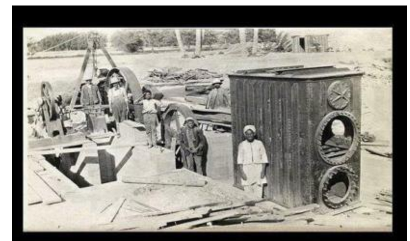
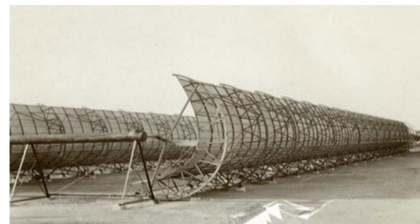
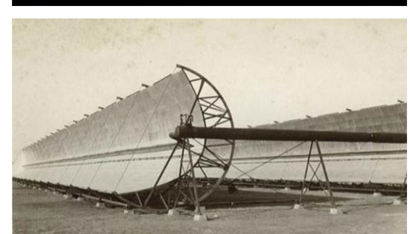
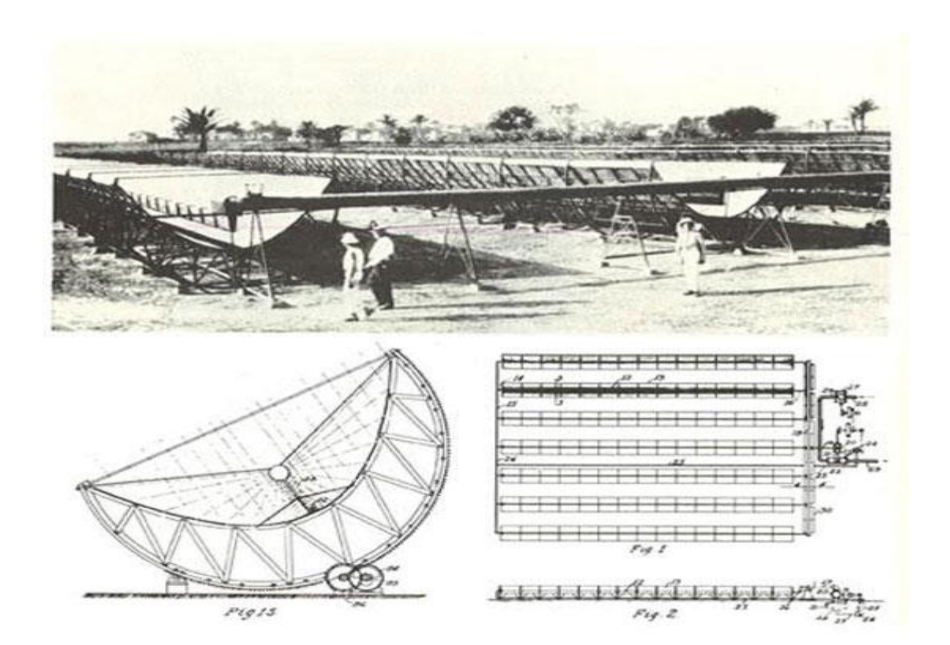
شكل (٧) الفيزيائى الروسى الكسندر ستولتوف

- في عام ١٨٨٨ تلقي ادوارد ويستون (Edward Weston) أول براءة اختراع أمريكية للخلايا الشمسية.
- في عام ١٩٠١ تلقي نيكولا تيسلا (Nicola Tesla) بالولايات المتحدة براءة اختراع عن "جهاز لإستخدام الطاقة المشعة وطريقة استعماله".
- في عام ١٩٠٥ نشر ألبرت أينشتاين (Albert Einstein) ، شكل (٨) ، ورقة بحثية عن "التأثير الكهروضوئي" مصاحبة لورقة بحثية أخري عن نظرية النسبية (Relativity Theory).



شكل (٨) البرت اينشتاين

- في عام ١٩١٣، افتتحت مصر أول محطة لتوليد الطاقة الشمسية المركزة في العالم، في حي المعادي وتحديدا في "٦ شارع ١٠١"، شكل (٩) ، حتى أن جمعية الطاقة الشمسية الحرارية الأسترالية قد احتفلت في يوليو عام ٢٠١٣، بالذكرى المئوية لإنشاء مصر أول محطة شمسية في التاريخ قبل أن يسمع عنها أحد في العالم.


شكل (٩) صور تاريخية من أول محطة لتوليد الطاقة الشمسية المركزة في العالم بالمعادى / مصر

- في عام ١٩١٦ قدم روبرت ميليكان (Robert Millikan) تجربة لإثبات نظرية أينشتاين عن "التأثير الكهروضوئي".

- في عام ١٩١٨ اكتشف جان سزوكرألسكي (Jan Czochralski) طريقة بناء بللور أحادي من السيليكون.
- في عام ١٩٢٢ فاز أينشتاين بجائزة نوبل عن " ورقة البحث عن التأثير الكهروضوئي المعدّة في ١٩٠٤" .
- في عام ١٩٥٤ تمت صناعة أول خلية فوتوفولتية عالية الطاقة من السيليكون بمعامل بيل (Bell Laboratories) بالولايات المتحدة الأمريكية، شكل (١٠) ، وتحقق كفاءة ٦% وكانت الأقمار الصناعية في وقت مبكرهي الإستخدام الرئيسي لهذه الخلايا الشمسية الأولي ؛ وتنبأت صحيفة نيويورك تايمز " أن الخلايا الشمسية سوف تؤدي في النهاية الي أن تكون مصدر للطاقة لا حدود لها من الشمس".



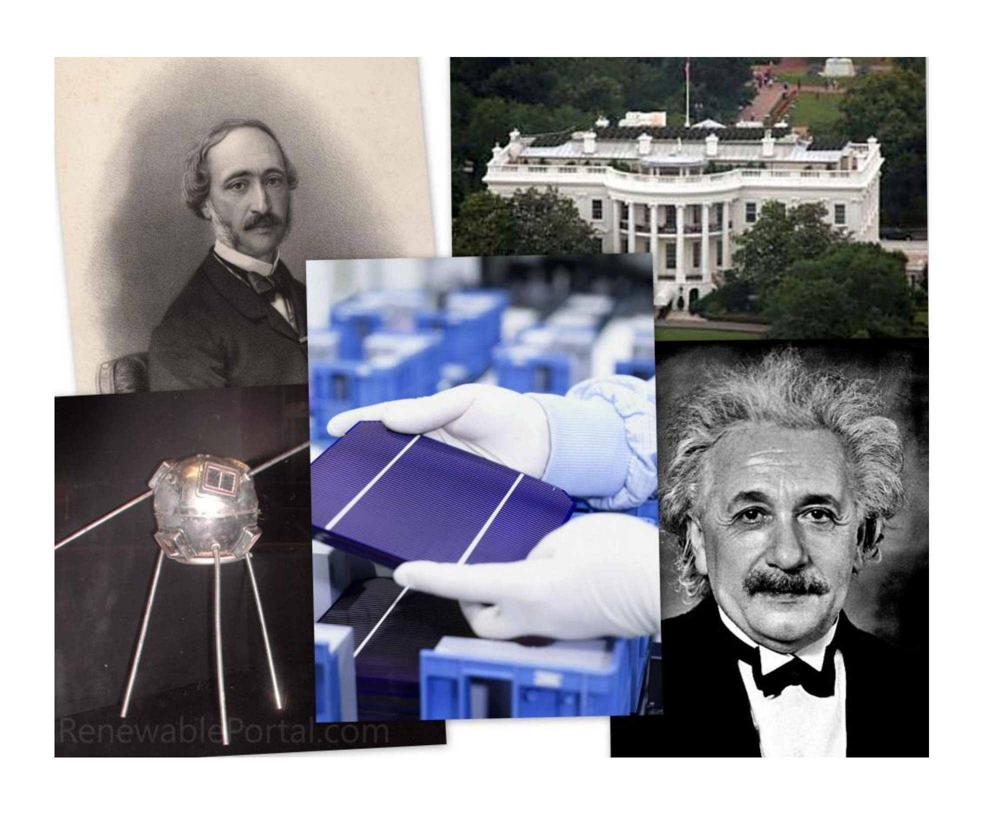





شكل (١٠) صور تاريخية لمعمل بيل بالولايات المتحدة الامريكية (١٩٥٤ )

- في عام ١٩٥٥ باعت شركة ويسترن إلكتريك (Western Electric) تراخيص تكنولوجيات السيليكون الفوتوفولتية التي شملت منتجات ناجحة.
- في عام ١٩٥٨ تم إستخدام مصفوفة فوتوفولتية لأنظمة لاسلكية لطلائع الأقمار الصناعية بالولايات المتحدة.
- في عام ١٩٦٠ أنجزت (Hoffman Electronics) خلايا فوتوفولتية بكفاءة ١٤ %.
- في عام ١٩٦٣ أنتجت شركة شارب (Sharp) موديول فوتوفولتية من خلايا السيليكون ، وأنشأت اليابان مصفوفة قدرة ٢٤٢ وات علي فنار ، وكانت أكبر مصفوفة في ذلك الوقت.
- في عام ١٩٦٦ وكالة ناسا (NASA) أطلقت مدارية المرصد الفلكي المحتوية علي مصفوفة فوتوفولتية بقدرة ١ ك.و.
- في السبعينات تسببت الأبحاث في إنخفاض تكاليف الفوتوفولتية لأقل من ٨٠ % مما سمح بتطبيقات مثل: إضاءة تحذيرات الملاحة وإنذارات المنارات ، ومعابر السكك الحديدية ، والإستخدامات عن بعد عندما يكون التوصيل بشبكة المرافق مرتفع التكلفة.
- في عام ١٩٧٣ تأسست مجموعة Solarex من قبل اثنين من العلماء السابقين بوكالة ناسا وعملوا علي تطوير الأنظمة الكهروضوئية للأقمار الصناعية.
- في عام ١٩٧٤ قامت اليابان بصياغة مشروع "الشمس المشرقة" لبحث وتطوير وقود الفوتوفولتية.
- في عام ١٩٧٦ بدأت مجموعة Kyocera في إنتاج موديولات الشريط السيليكون البلوري .(Silicon Ribbon Crystal Solar Modules)
- في عام ١٩٧٧ أسست وزارة الخارجية الأمريكية للطاقة " معهد الولايات المتحدة لبحوث الطاقة الشمسية " في "GOLDEN CO"
- في الثمانيات مع إستمرار التحسين في الكفاءة وإنخفاض التكلفة أمكن أن تصبح الفوتوفولتيه شائعة كمصدر تغذية للأجهزة الإلكترونية مثل آلالات الحاسبة والساعات والراديو والكشافات وغيرها من التطبيقات التي تحتاج إلي بطاريات شحن صغيرة .

- في عام ١٩٨٢ أنشأت أول محطة شمسية سعة ١ م . وات في HISPERIA,CALIFORNIA .
- في عام ١٩٩٠ أطلقت ألمانيا برنامج لتركيب الخلايا الشمسية علي الأسطح وتم تركيب خلايا شمسية علي سطح كاتدرائية Magdeburg كأول كنيسة تعمل بالطاقة الشمسية بألمانيا الشرقية .
- في عام ١٩٩١ وجه الرئيس جورج دبليو بوش وزارة الطاقة الأمريكية إلي إنشاء " المعمل الوطني للطاقة المتجددة" ( والذي أصبح حاليا : معهد أبحاث الطاقة الشمسية في Sandia )
- في عام ١٩٩٤ بدأت اليابان في تنفيذ برنامج مدعم لـ٧٠ ألف سطح شمسي .
- في عام ١٩٩٨ بدأت كاليفورنيا في " برنامج الطاقات المتجددة الطارئ " لتمويل أنظمة فوتوفلتية للقطاعين التجاري والسكني بقدرة أقل من ٣٠ ك . و .
- في عام ٢٠٠٢ بدأت لجنة المرافق العامة " California Public Utilities "CA) Commission) (CPUC or PUC) برنامج حوافز الإنتاج الذاتي (-Self Generation incentive program) لمشاريع الفوتوفلتية الأكبر من ٣٠ ك . و .
- في عام ٢٠٠٤ خمسة مصنعين هم BP SOLAR and RWE SCHOTT solar , sharp . Kyocera, shell solar كانوا أصحاب ٦٠% من تسويق الفوتوفلتية وGE أشترت ASTRO POWER وهو أخر مصنع متبقي للفوتوفلتية مستقل بالولايات المتحدة.
- في عام ٢٠٠٦ قدمت لجنة المرافق العامة ( California Public Utilities Commission) (CPUC or PUC) تقنية متقدمة لبرنامج شمسي مدعوم خلال ١٠ سنوات من خلال مبادرة كاليفورنيا للطاقة الشمسية ( CALIFORNIA SOLAR INITIATIVE"CSI") .
- في عام ٢٠٠٧ بدأ برنامج (Christian Solidarity International)( CSI) منظمة التضامن المسيحية الدولية ) واستقبل استقبالاً حسناً من قبل السوق ، مع أعلي حجم طلب متوقع .




**شكل (١١) تطور تاريخ الطاقة الكهروشمسية (الفوتوفولتية)**

# الباب الثانى

# الطاقة الشمسية

# Solar Energy

**الشمس (The Sun)**

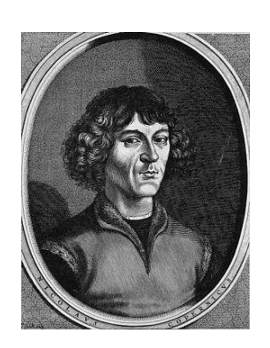
هي مصدر كل من الحياة والطاقات المختلفة علي الأرض (طاقة كيميائية وطاقة حرارية) ، وهي كتلة من الغازات المتوهجة التي تبلغ درجة حرارة مركزها حوالي ١٤ مليون درجة مئوية ، وتنتج هذه الطاقة الهائلة نتيجة نوع من التفاعلات النووية ، لذلك يعتبر باطن الشمس مفاعلا نوويا طبيعيا هائلا ينتج أشعة "جاما" وأشعة " إكس" المهلكة ، إلا ان الأشعة عند انتقالها من باطن الشمس حتي سطحها تكون قد تحولت لعمليات امتصاصها، ثم يعاد بثها عبر طبقات الشمس المختلفة الي أشعة مرئية ذات طول موجي يمكن الاحساس به بالعين المجردة وهو المصدر الرئيسي للطاقة الشمسية .

بعض خصائص الشمس :

- هي أقرب نجم الي الأرض وتبعد نحو حوالي ١٥٠ مليون كم منها
- يبلغ قطرها نحو ١،٣٩٢،٠٠٠ كم وهو أكثر من ١٠٩ أضعاف قطر الأرض
- درجة الحرارة في مركز الشمس عالية جدا حيث تبلغ ١٤،٠٠٠،٠٠٠ درجة مئوية بينما لا ترتفع درجة حرارة الأرض عادة عن ٥٠ درجة مئوية
- يسمي سطح الشمس "الفوتوسفير" أي السطح "النير" وعلي الرغم من أنه أبرد كثيرا من داخلها الا أن درجة حرارته تبلغ ٦٠٠٠ درجة مئوية .
- تدور الشمس حول محورها مرة كل ٢٥ يوما
- العالم نيكولاس كوبرنيكس (١٤٧٣ -١٥٤٣) المولود في بولونيا هو راهباً وعالماً في الرياضيات وفيلسوفا فلكياً وقانونياً وطبيباً وإدارياً ودبلوماسياً وجندياً بولندياً كان أحد أعظم علماء عصره. يعتبر أول من صاغ نظرية مركزية الشمس واعتبر الأرض جرماً يدور في فلكها في كتابه "حول دوران الأجرام السماوية". وهو مطور نظرية دوران الأرض، ويعتبر مؤسس علم الفلك

الحديث الذي ينتمي لعصر النهضة الأوروبية من ١٤٠٠ إلى ١٦٠٠ ميلادية. ولذا فهو صاحب نظرية "الشمس هي مركز الكون " أو "مركزية الشمس " أو " نظام كوبرنيكس" حيث أدرك أن الأرض تدور حول نفسها وأنها أيضا تدور في فلك حول الشمس .

- الشمس تزودنا بالحرارة والضوء وهما قوام الحياة



شكل (١) العالم نيكولاس كوبرنيكس

تندفع الحرارة المتولدة في باطن الشمس الي سطحها فيتوهج بلون أصفر ساطع ويشع كميات هائلة من الضوء ، وتنتشر الطاقة الحرارية والضوئية المنبعثة من الشمس عبر الفضاء في جميع الاتجاهات .

تعرف الطاقة الحرارية بالاشعاع تحت الحمراء ، وهو اشعاع غير مرئي ولكنه يستشعر بالحس ، فكل جسم يمتص هذا الاشعاع يصبح أسخن من ذي قبل . الاشعاع الآخر المنبعث من الشمس هو الاشعاع فوق البنفسجي ، بخلاف الضوء والاشعاع تحت الحمراء ، لا يصل منه الي سطح الأرض الا القليل القليل . عموما يعتبر الاشعاع فوق البنفسجي مفيد صحيا ، كما أن بعض التفاعلات الكيماوية لا تحدث بدونه . إن الطاقة الحرارية والضوئية التي تصلنا من الشمس ضرورية للحياة .

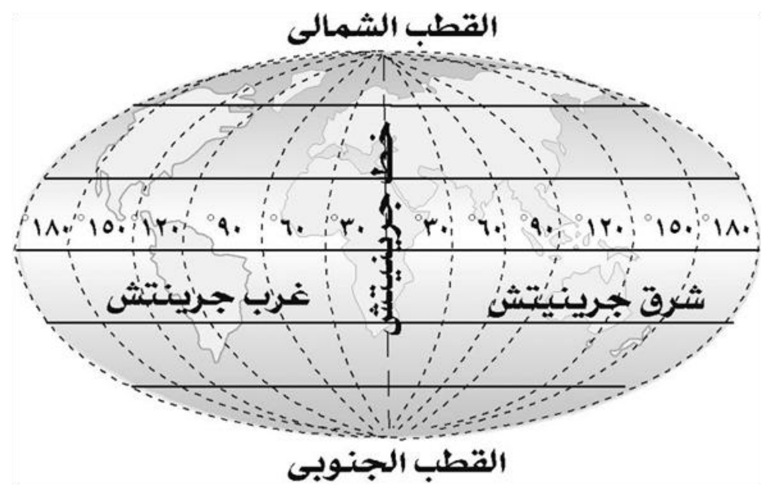
**الأرض**

هي واحدة من تسع كواكب سيارة تدور حول الشمس في الاتجاه نفسه . أاقرب كوكب سيار هو عطارد ويليه الزهرة ثم الأرض ..... وحتي بلوتو .

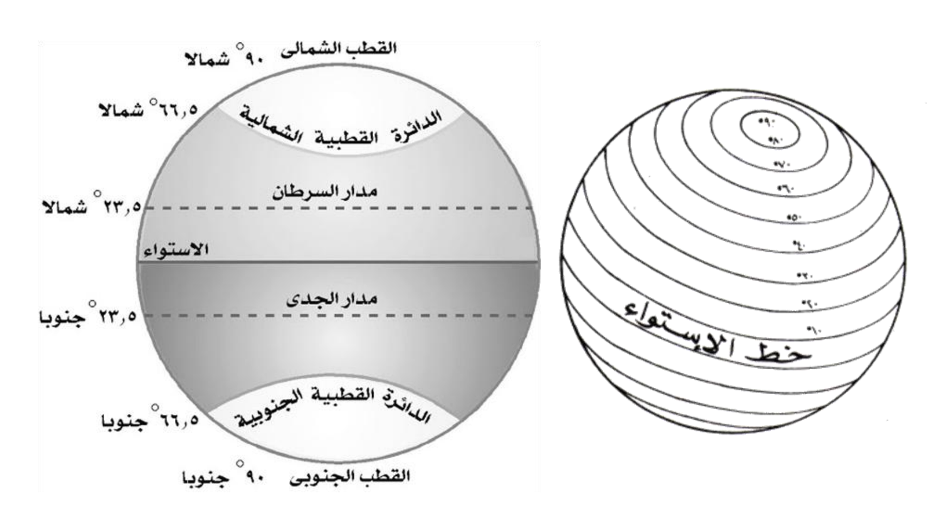
لسهولة دراسة كوكب الأرض نظرا لاتساعه قام العلماء برسم خطوط الطول ودوائر العرض علي خرائط تمثل سطح الارض .
يوضح جدول (١) تعريف وأهمية خطوط الطول ودوائر العرض.
يبين شكل (١) ، (٢) خطوط الطول ودوائر العرض موقعة علي سطح الأرض علي التوالي .

جدول (١) خطوط الطول ودوائر العرض (التعريف والأهمية )

| البند | التعريف | الاهمية |
|---|---|---|
| خطوط الطول longitude | • هي أنصاف دوائر تبدا من القطب الشمالي عند القطب الجنوبي وبشكل عمودي تحيط بالأرض<br>• عددها ٣٦٠ خط<br>• هي خطوط وهمية<br>• خط الطول الرئيسي هو خط جرينتش والذي درجة حرارته صفر ويتوسط خطوط الطول<br>• تمر هذه الخطوط علي مناطق لها نفس التوقيت تماما | • تحديد موقع الأماكن شرق وغرب خط جرينتش<br>• تحديد الزمان وفروق التوقيت في كل جهات العالم<br>• نتيجة اختلاف الوقت من دولة الي أخري حول العالم فان هذه الخطوط تساعد علي تحديد الوقت بدقة |
| دوائر العرض Latitude | • هي دوائر وهمية أفقية تحيط بالكرة الارضية وتصغر تدريجيا كلما ابتعدنا شمالا أو جنوبا عن خط الاستواء<br>• عددها ١٨٠ دائرة<br>• الدائرة الأساسية هي الدائرة الاستوائية ودرجة حرارتها صفر وهي أطول دائرة<br>• قسمت المناطق حسب حرارتها علي أساس هذه الخطوط | • تحديد المواقع شمال وجنوب خط الاستواء<br>• تقسيم العالم الي مناطق حرارية وتحديد أحوال المناخ (درجة الحرارة )<br>• تستخدم كل من خطوط الطول ودوائر العرض في تحديد موقع المكان وموضع الانسان براً أو بحراً أو جواً |




شكل (١) خطوط الطول



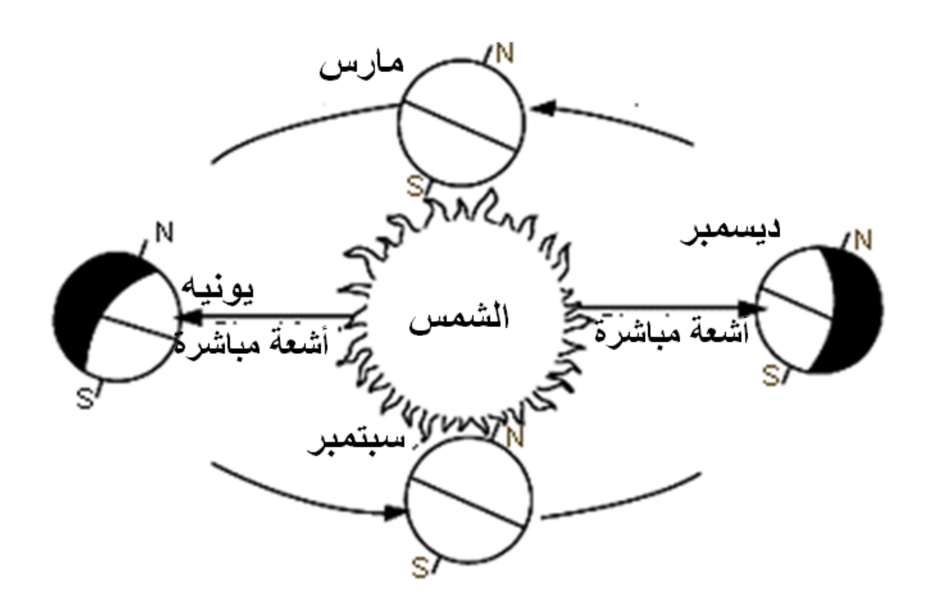

شكل ( ٢) دوائر العرض

## موقع الأرض من الشمس :

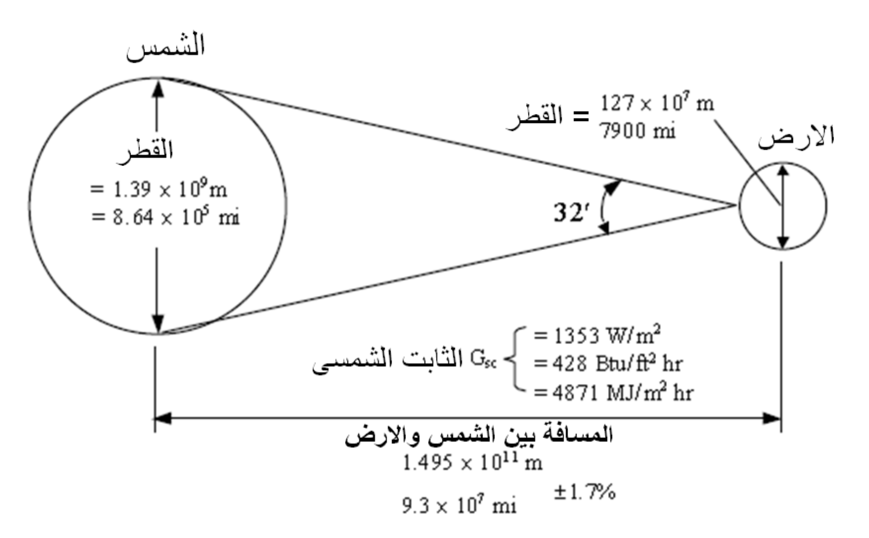
من المعلوم أن الطاقة الشمسية هي أحد مصادر الطاقة الهامة للأرض ، حيث تصل كمية هائلة من ضوء الشمس في الفضاء المحيط بالارض ، نتيجة دوران

كوكب الأرض حول الشمس في مدار محدود فان كميات متفاوتة من هذه الطاقة تصل الي سطح الأرض يوميا ، تعتمد هذه الكميات علي موقع الأرض من الشمس وعلي فصول السنة الأربعة . يوضح شكل ( ٣ ) سقوط الأشعة المباشرة على الأرض من الشمس في الفصول الأربعة للسنة

ويوضح شكل (٤) موقع ومسافة وقطر كل من الأرض والشمس




شكل ( ٣ ) سقوط الأشعة المباشرة على الأرض من الشمس في الفصول الأربعة للسنة



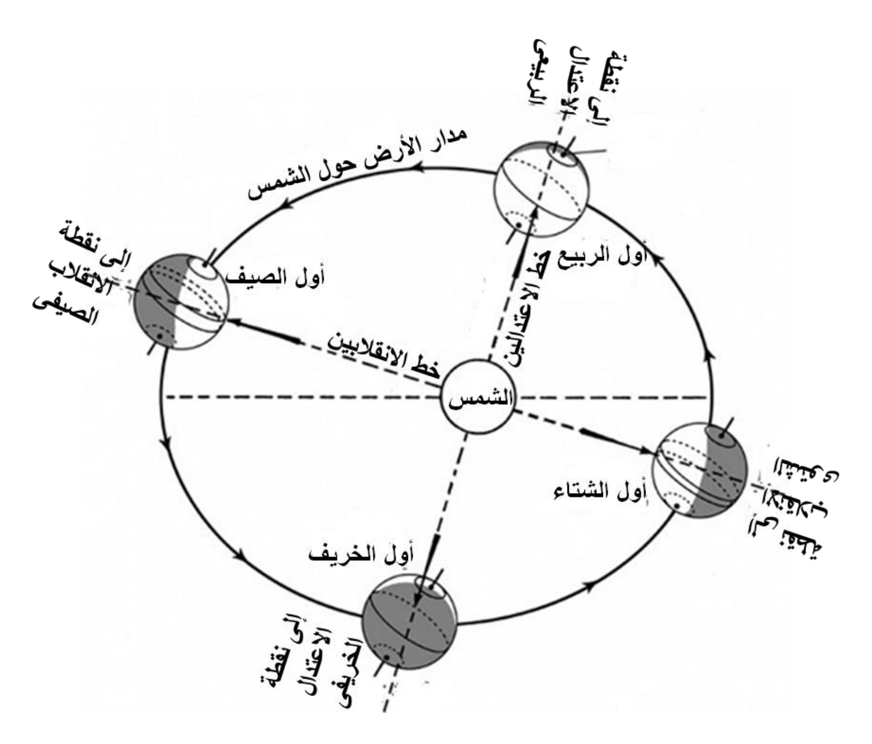

شكل (٤) المسافة بين الأرض والشمس ( بالمتر والميل ) وقطر كل منهما

**من الحقائق الهامة**

تدور الأرض حول محور وهمي يمر في القطب الشمالي والقطب الجنوبي ، هذا المحور يميل بمقدار ٢٣,٥° عن مستوي مدار الأرض . هذا الميلان يسبب الفصول الأربعة فيكون النهار طويلا وحارا والليل قصير في الصيف ، بينما النهار قصير بارد والليل طويل في الشتاء .

- في ٢١ مارس : الاعتدال الربيعي وفيه يتساوي الليل والنهار
- في ٢٣ سبتمبر : الاعتدال الخريفي وفيه يتساوي النهار والليل
- في ٢٢ ديسمبر : الانقلاب الشتوي وفيه أقصر نهارا وأطول ليلا
- في ٢١ يونيو : الانقلاب الصيفي وفيه أطول نهارا وأقصر ليلا
- عند خط الاستواء يتساوي الليل والنهار

يوضح شكل (٥) موقع الأرض من الشمس فى الفصول الأربعة للسنة




شكل (٥) موقع الأرض من الشمس فى الفصول الأربعة للسنة

من المعروف أن الدول التي تقع علي خط الاستواء هي الدول التي تتمتع بفصل واحد تقريبا طوال السنة وهو فصل الصيف ، أى تسلط أشعة الشمس علي هذه الدول طوال السنة ومن ثم تتمتع الدول القريبة من خط الأستواء بهذا الطقس . يدرك سكان المناطق الشمالية والجنوبية لخط الاستواء والقريبة لأقطاب الأرض ، الفصول الأربعة للسنة .

كمية الاشعاعات الشمسية التي تصل سطح الأرض تتفاوت بسبب تغيير الظروف الجوية والموقع المتغير للأرض بالنسبة للشمس، خلال اليوم الواحد وطوال السنة .

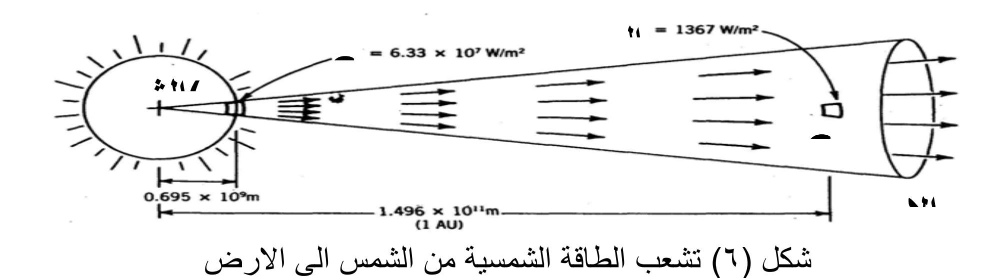
يعتبر الغيوم هو أحد العوامل الجوية الرئيسية التي تؤثر في كمية الاشعاع الشمسي الذي يصل الي الأرض ولذلك تستقبل المناطق ذات المناخ الغائم اشعاعات شمسية أقل من المناطق الصحراوية . وتكون

أكبر كمية اشعاع شمسي تصل الي الارض هي أشعة فترة الظهيرة عندما يكون ضوء الشمس متعامد علي سطح الأرض ، بينما في وقتي الشروق والغروب تستقبل الأرض أقل كمية من الاشعاع طوال اليوم . عند سقوط اشعاع الشمس عموديا علي سطح الأرض خلال فترة الظهيرة تتعرض الأشعة لمفقودات صغيرة جدا ، وتكون عبارة عن امتصاص السحب للاشعاعات الشمسية أو تبعثر الاشعاعات في الفضاء عن طريق انعكاسها خلال الرماد البركاني المحمول جواً أو الأدخنة المحمولة جوا و الناتجة من حرق الأشجار وغيرها من ملوثات البيئة .

ويوضح شكل (٦) تشعب الطاقة الشمسية من الشمس الى الأرض ، وتكون كثافة الاشعاع (intensity of radiation) التى تترك الشمس ثابتة نسبيا . وعلى ذلك فأن كثافة الاشعاع الشمسى عند مسافة 1AU تسمى الثابت الشمسى Gsc وله قيمة تساوى 1367 W/m2 ،

(Fröhlich and Brusa, 1981, and Iqbal, 1983).

وعند الاحتياج لتحويلها الى وحدة أخرى يستخدم جدول (٢)



شكل (٦) تشعب الطاقة الشمسية من الشمس الى الارض

**جدول (٢) الوحدات المختلفة للثابت الشمسي (Gsc)**

| | |
|---|---|
| Gsc = | 1367 w/$m^2$ |
| Gsc = | 136,7 mw/c$m^2$ |
| Gsc = | 0.1367 w/c$m^2$ |
| Gsc = | 1.367*$10^6$ erg/c$m^2$.s |

| Gsc = | 127.0 $w/ft^2$ |
|---|---|
| Gsc = | 0.03267 $cal/cm^2.s$ |
| Gsc = | 1.960 $cal/cm^2.min$ |
| Gsc = | 1.960 Ly /min (thermochemical cal./$cm^2$.min.) |
| Gsc = | 1.957 Ly /min(mean cal/$cm^2$.min) |
| Gsc = | 433.4 Btu/$ft^2$.hr |
| Gsc = | 0.1204 Btu $ft^2$.s |

الـ erg هي وحدة الطاقة والشغل joules   erg = $10^{-7}$   = 1 g.cm2/s2

<u>الوحدة الفلكية</u> (رمزها و.ف.)  ((Astronomical unit (AU))

وحدة يقاس بها غالبا بعد الكواكب عن الشمس وهي تساوي بعد الأرض عن الشمس

تمثل الوحدة الفلكية متوسط المسافة بين الأرض والشمس.

قيمتها الحالية:

الوحدة الفلكية هي متوسط المسافة بين الأرض والشمس والتي تساوي

١٤٩,٥٩٧,٨٧٠،٦٩١ كم (بدقة ± ٣ مترا)

أي أن:

- ١ و.ف. = ١٤٩,٥٩٧,٨٧٠،٦٩١ كيلومتر= ١٥،٨١٣ × ١٠ ^-٦^ سنة ضوئية.
- ١ سنة ضوئية = ٦٣٢٤١ و.ف.

لكن العامة تعتبر أن قيمة الوحدة الفلكية تساوي تقريبا ١٥٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلومترا وهي قيمة أسهل حفظا لكن القيمة الحقيقية أصغر بـ ٤٠٢١٢٩,٣٠٩ كيلومترا.

استخداماته

بدأ استخدامها منذ عام ١٩٥٨م للتعبير عن المسافة بين الكواكب والشمس وباقي المسافات داخل النظام الشمسي أو داخل باقي النظم الشمسية لأنه بالرغم من كبرها فهي ليست عملية لقياس المسافات بين النجوم مثلا، حيث تستعمل وحدة السنة الضوئية.

**لانجلى (Ly) (Langley)**

هى وحدة توزيع الطاقة على مساحة (وتسمى أيضا "كثافة الحرارة" ). تستخدم لقياس الإشعاع الشمسي (solar radiation or Insolation) . فى عام ١٩٤٧ نسبت هذه الوحدة الى العالم Samuel Pierpont Langley (1834-1906)

١ لانجلى = ١ كالورى كيمياء حرارية / سم مربع

(1 thermo chemical calorie per square centimeter).

= ٤١٨٤٠ جول / متر مربع

(41840 J/m² (joules per square meter),

١ كالورى = ١١،٦٢٢ وات – ساعة / متر مربع

(ca. 11,622 watt-hours per square meter)

**المسافة بين خطي طول:**

- تعتمد المسافة التي تفصل خطوط الطول عن بعضها البعض علي دائرة العرض التي تقاس المسافات عندها ، لأن دوائر العرض غير متساوية في طولها
- تكون المسافة بين خط الطول وخط آخر أكبر عند خط الاستواء وتقل عند دوائر العرض باتجاه القطبين (الشمالي والجنوبي) حيث تتقابل عند القطب
- المسافة بين خط الطول وخط آخر عند خط الاستواء تساوي

  $360 \div 2\pi r$

  حيث r نصف قطر دائرة الاستواء
- المسافة بين خط الطول وخط اخر علي اي خط عرض تساوي

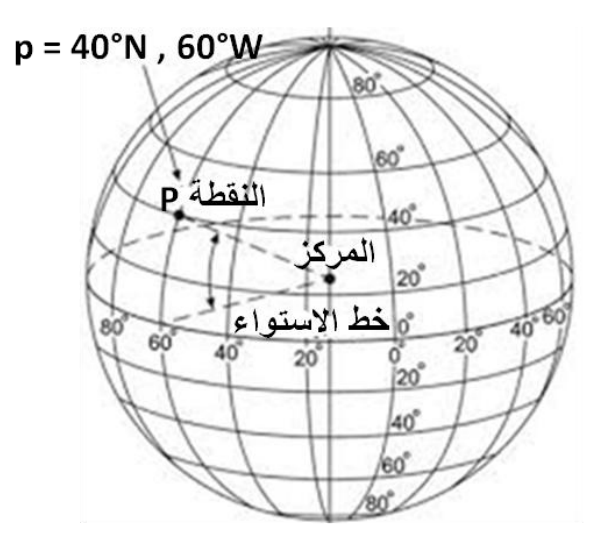
  $360 \div 2\pi r \cos\Phi$

**حيث :**

r نصف قطر خط العرض الذي يحسب عنده المسافة

Φ الزاوية بين خطي الطول المراد حساب المسافة بينهما

يستفاد من خطوط الطول ودوائر العرض في تحديد المواضع بدقة ، فمثلا في شكل ( ٧ ) تكون احداثيات النقطة ( P ) هي p = 40°N , 60°W وتعني أن النقطة P تقع عند دائرة عرض 40° شمالاً ، وخط طول 60° غرباً




شكل (٧) تمثيل لموقع النقطة P

موقع مصر بالنسبة لخطوط الطول ودوائر العرض :

- تقع بين دائرتي عرض٢٢ شمالاً ، ٣٢ شمالاً(أي بين ١٠ دوائر عرض )
- تقع بين خطي طول ٢٥ شرقاً ، ٣٧ شرقاً (أي بين ١٢ خط طول )
- يمر مدار السرطان في جنوب مصر

الطاقة الشمسية :

هي مصدر لا ينضب للطاقة وهي مصدر نظيف لا ينتج عن استعمالها أي غازات أو نواتج ضارة للبيئة .

يمكن ان تقاس الطاقة الشمسية بوحدة الجول (Joule) ، مع أن القياس الأكثر شيوعا لفيض الاشعاع (Flux) أو لقدرة الاشعاع (Power) هو التعبير بالطاقة خلال الزمن . وتكون الوحدة الأساسية قياس القدرة هي وات/ثانيه (watt/sec) . تشع الشمس $3.846*10^{26}$ وات .

هذه الطاقة تشع من الشمس في مجال دائري ، حيث يصل بعضها الي الأرض . تقاس الطاقة الداخلة الي الأرض كأشعاع شمسي (طاقة /الثانيه لكل متر مربع ) .

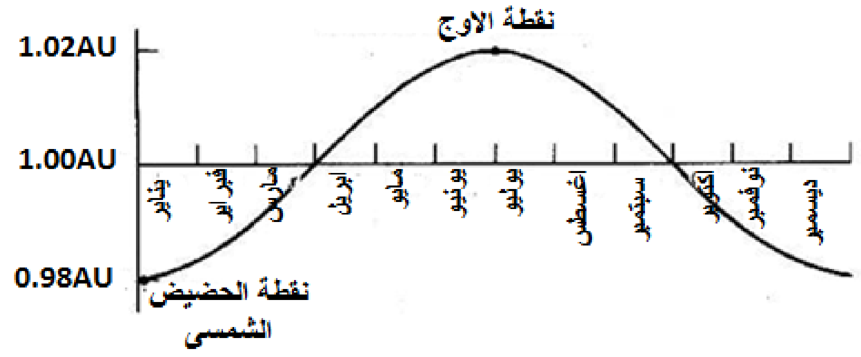
يتم الحصول علي شدة الطاقة الشمسية (intensity of solar energy) الواصلة عند أعلي قمة الغلاف الجوي للأرض (المواجه مباشرة للشمس ) والتي تعرف أيضا بالثابت الشمسي (solar constant) من العلاقة :

$$Gsc = = \frac{(3.846*10^{26}).w}{4\pi*(1.496*10^{11})^2.m2} = 1360 \text{ w/m2}$$

يوضح شكل (٨) تغير المسافة بين الشمس والارض والتي تتغير في حدود : 1.02 AU , 0.98 AU أي في حدود :

- نقطة الأوج (aphelion) وهي النقطة التي يكون فيها الكوكب السيار أبعد ما يمكن من الشمس
- نقطة الحضيض الشمسي (perihelion) وهي أقرب نقطة في مدار الكوكب

السيار الي الشمس ولذلك تجد بعض المراجع تذكر قيمة الثابت الشمسي حول الرقم 1360 w/m2



شكل (٨) تغير المسافة بين الشمس والارض تبعا لتغير شهور السنة

نتيجة لعمليات الامتصاص والتشتت للاشعاع الشمسي في الغلاف الجوي للأرض فان ما يصل الي سطح الأرض قد يكون في المتوسط ١٠٠٠ وات لكل متر مربع . تشكل الأشعة المرئية (أو الضوء المرئي ) نسبة ٤٢ % : ٤٦% من الطاقة الكلية الصادرة من الشمس والأشعة فوق البنفسجية ٢% بينما معظم الاشعاع الواصل لسطح الأرض أشعة تحت الحمراء الحرارية بنسبة ٤٩% : ٥٦% وهي

بمثابة الحرارة ، وجميع هذه الاشعاعات الكهرومغناطيسية تنتقل عبر الفضاء بمعدل ثابت .

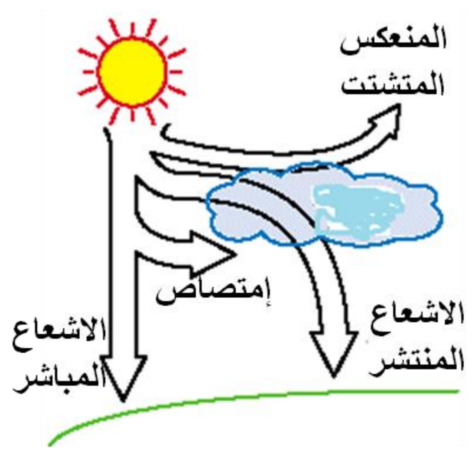
تتحول الطاقة الشمسية الواصلة الي سطح الأرض الي :

- طاقة كيميائية : عند سقوط أشعة الشمس علي أوراق النباتات تدخر في النبات علي شكل طاقة كيميائية عضوية وتشكل هيكلا للنباتات ومصدر غذائه وغذاء الكائنات الحية بصفة عامة .
- طاقة الرياح : يظهر الأثر الحراري للطاقة الشمسية عند سقوط الأشعة الشمسية علي الغلاف الجوي فيسبب تسخينه تسخينا متفاوتا وبالتالي تنتج تيارات هوائية مسببة حدوث طاقة الرياح .

**<u>طيف الاشعاع الشمسي فوق الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض :</u>**

يتطابق الشعاع الشمسي تقريبا مع درجة حرارة اشعاع الجسم الأسود عند حوالي ٥٨٠٠ كلفن عند مرور أشعة الشمس خلال الغلاف الجوي ، تضعف هذه الاشعة نتيجة التشتت والامتصاص وكلما زادت كمية الغلاف الجوي التي تخترقها كلما أصبحت أكثر ضعفا ، يوضح شكل (٩) مسارات الاشعاع الشمسي في الغلاف الجوي عندما تمر أشعة الشمس خلال الغلاف الجوي . وتحدث تفاعلات كيميائية ، حتي يصل الطيف الي سطح الأرض ، عندئذ يكون الطيف محددا بين الأشعة تحت الحمراء البعيدة والأشعة فوق البنفسجية القريبة .

تبلغ قيمة معدل الاشعاع الشمسى الساقط علي المحيط الخارجي للأرض ١٣٥٧ w/m2 وهو ما يعرف بالثابت الشمسي . وهو يمثل مصدر الطاقة الرئيسي الذي يتم استخدامه لأداء مهمات معينة




شكل ( ٩) مسارات ضوء الشمس خلال الغلاف الجوى

## الاشعاع الشمسي (Solar radiation)

تختلف شدة الاشعاع الشمسي وكميته من مكان الى آخر، وهذا الاختلاف ناتج من العوامل الآتية والتي تشكل القوة المحركة للكثير من الظواهر الطبيعية على سطح الأرض:

١- دوران الأرض في شكل بيضاوي مرة كل ٣٦٥ يوم محدثا التغيرات الفصولية.
٢- دوران الأرض حول محورها كل ٢٤ ساعة محدثا اختلاف الليل والنهار.

يصل الى الأرض ثلاثة أنواع من الاشعاعات والتى تمثل نسبة ٥٠% من الأشعة الشمسية:

١- الاشعاع الشمسي المباشر من الشمس (Direct Solar Radiation)
٢- الاشعاع الشمسي المشتت والمتطاير في الجو (Diffused Solar Radiation)
٣- الاشعاع الشمسي المنعكس من السطوح الأخرى ( Reflected Solar Radiation)

فيما يلى تعريف الثلاثة أنواع من الاشعاعات :

١- الاشعاع الشمسي المباشر من الشمس (Direct Solar Radiation)

(أو حزمة الاشعاع المباشر (Direct Beam Radiation) )

- هو عبارة عن شعاع مباشر، أي في خط مباشر من الشمس الى الأرض ويمثل نسبة كبيرة في الأيام المشمسة حوالي ٢٧%. أما فى الأيام الغائمة فإن الشمس تكون مغطاة بالغيوم وعندئذ يكون الشعاع تقريبا معدوم وبالتالي يمثل الاشعاع المبعثر الأغلبية العظمى في ذلك الوقت.

٢- الاشعاع الشمسي المشتت والمتطاير في الجو (Diffused Solar Radiation)

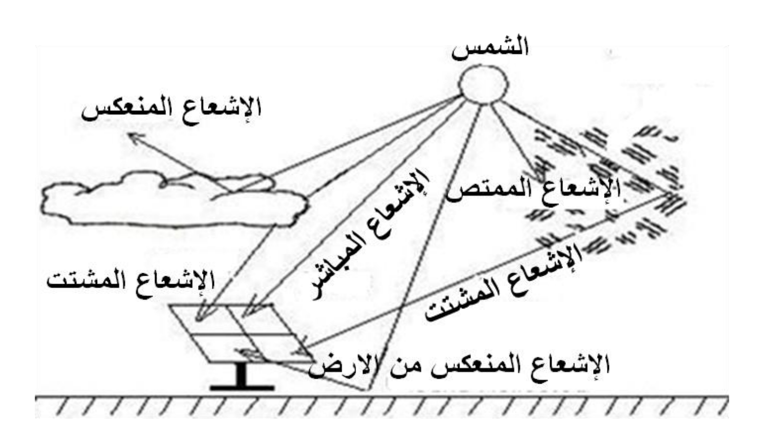
(أو حزمة الاشعاع المبعثر Diffused Beam Radiation))

- هذا الاشعاع يأتي من أنحاء متفرقة من السماء لذا يطلق عليه "اشعاع السماء" وتكون كميته حوالى ١٠% للسماء الصافية وتصل الى ١٠٠% للسماء الغائمة.

٣- الاشعاع الشمسي المنعكس من السطوح الاخرى (Reflected Solar Radiation)

( أو حزمة الاشعاع المعكوس (Albedo Radiation) )

- كمية الاشعاع المنعكس على سطح الخلية الشمسية يختلف نتيجة اختلاف السطوح العاكسة للشعاع، فمن المعلوم اختلاف معاملات الانعكاس من سطح لآخر، وتكون كمية الاشعاع المنعكس حوالي ١٣% يوضح شكل (١٠) أنواع الاشعاع الشمسى




شكل (١٠) أنواع الاشعاع الشمسى

عموما تتأثر كمية وشدة الاشعاع لجميع الأنواع بعدة عوامل منها:
- حالة السماء من حيث صفائها وتلبدها بالغيوم.
- الوقت خلال النهار والفصل خلال السنة.
- الارتفاع فوق منسوب البحر.
- موقع الشمس في السماء وزاوية ميل الشمس

يعتمد تحديد مقدار الاشعاع الشمسي الذي يصل الى سطح الارض على:
- مكونات طبقة الغلاف الجوي
- سمك الغلاف الجوي الذى سيمر خلاله الاشعاع الشمسي.
- عند منتصف اليوم تصبح الشمس عمودية عندئذ يكون سمك الغلاف الجوي الذي سيمر خلاله الاشعاع الشمسي أقل مايمكن والطاقة الواصلة الى الأرض أعلى مايمكن. أما عند الشروق والغروب فإن سمك الغلاف الجوي الذي سيمر خلاله الاشعاع الشمسي يكون أعلى مايمكن والطاقة الواصلة للأرض أقل مايمكن.
- ولهذا السبب فإن حجم طاقة الاشعاع الشمسي يكون مرتفعا في المناطق ذات الارتفاعات العالية عن سطح البحر.

جدول ( ٣ ) يوضح القيم الشهرية للاشعاع المباشر والاشعاع المبعثر( المنتشر) بالقاهرة (مصر) حيث يكون الاشعاع بنسبة ٦٦% للمباشر ، ٣٤ % للمبعثر(المنتشر ) بينما يكون الاشعاع الأفقي سنويا حوالي 2000kwh/m2.a

جدول ( ٣ ) قيم الاشعاع المباشر والمبعثر( المنتشر ) شهريا بالقاهرة /مصر

| الشهر | الاشعاع المباشر Kwh/m2 | الاشعاع المبعثر(المنتشر) Kwh/m2 |
|---|---|---|
| يناير | ٦٧ | ٣٣ |
| فبراير | ٧٥ | ٤٠ |
| مارس | ١٠٣ | ٦١ |
| ابريل | ١٢٠ | ٧٢ |
| مايو | ١٤٣ | ٨٠ |
| يونيو | ١٦١ | ٧١ |
| يوليو | ١٦٣ | ٧٠ |
| اغسطس | ١٤٧ | ٦٨ |

| سبتمبر | ١٢٤ | ٥٧ |
|---|---|---|
| اكتوبر | ٩٩ | ٥٠ |
| نوفمبر | ٦٤ | ٤٣ |
| ديسمبر | ٥٥ | ٣٦ |

تختلف كمية الاشعاع المنعكس على سطح الخلية الشمسية تبعا لاختلاف معاملات السطوح العاكسه للاشعاع ، ويوضح جدول ( ٤) معاملات الانعكاس (Reflection coefficients) لبعض المواد العاكسة والتي تساعد عند حساب كمية الشعاع الساقط علي موضع معين من الأرض .

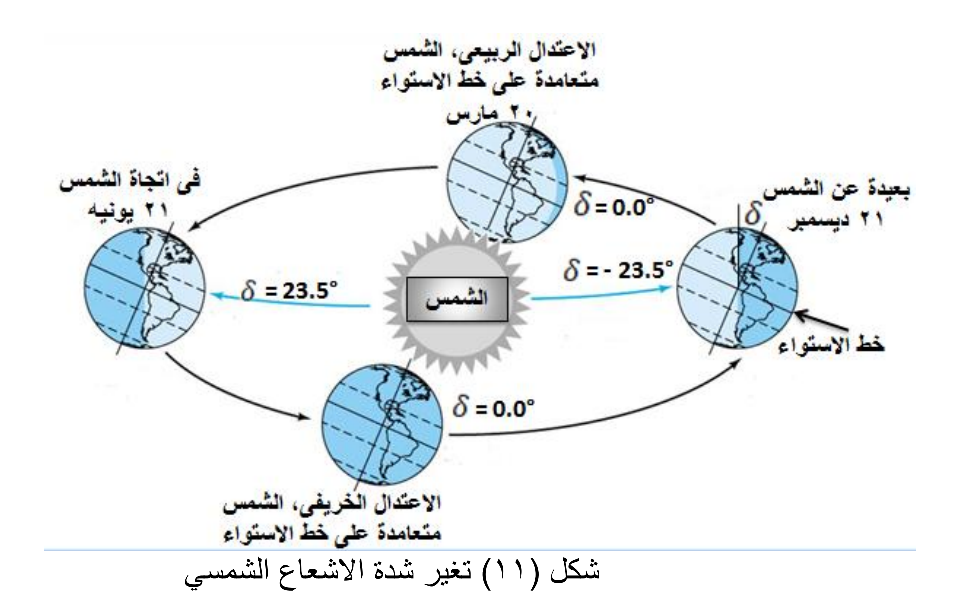
جدول ( ٤) حدود معامل الانعكاس لبعض المواد العاكسة

| المادة | معامل الانعكاس |
|---|---|
| الثلج ( snow) | 0.70 – 0.87 |
| الخرسانة (concrete) | 0.31 -- 0.33 |
| أسطح قطران وحصي (Tar and gravel roofs) | 0.12 - 0.15 |
| طرق أسفلت (Asphalt paved roads) | 0.10 - 0.12 |

تتغير شدة الاشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء نتيجة ميل الأرض ودورانها حول الشمس .

يوضح شكل (١١) تغير شدة الاشعاع الشمسي بين الصيف والشتاء وفيه نجد :

- في شهر يونيه يكون القطب الشمالي مواجها للشمس ولذا تنطلق الأشعه الشمسية الي الجزء الشمالي من الكرة الأرضية بصورة عمودية تقريبا .
- في شهر ديسمبر ينحرف القطب الشمالي بعيدا عن الشمس باعثا أقل كثافة من الطاقة الشمسية . (كثافة الطاقة هي الطاقة الساقطة بوحدة ك.و.س/ متر مربع من سطح الأرض في زمن معين ).




شكل (١١) تغير شدة الاشعاع الشمسي

(طبقا لزاوية الانحراف الشمسي $\delta$)

## الزوايا الشمسية Solar angles

حيث أن شدة الاشعاع الشمسي الساقط علي سطح الأرض تابع لموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس فيكون من الضروري تحديد بعض الزوايا الهندسية التي توضح العلاقة بين سطح الأرض والشمس وتستخدم في اجراء حسابات قيم الاشعاع ومجالات أنظمة الطاقة الشمسية حيث يمكن وصف وضع الشمس عند أي موقع عن طريق الارتفاع الشمسي ( solar altitude) والسمت الشمسي (solar azimuth)

فيما يلي تعريف الزوايا الشمسية ( والموضحة فى شكل (١٢) ) وبعض التعريفات الهامة :

- الوقت الشمسي
- الوقت القياسي

- زاوية الانحراف الشمسي
- الزاوية الساعية
- زاوية السمت الشمسي الرأسية
- زاوية الارتفاع الشمسي
- زاوية السمت الشمسي الأفقية
- زاوية ميل السطح
- زاوية سمت السطح
- زاوية السقوط الشمسي

١. الوقت الشمسي ( solar time)

هو الزمن بناء علي الحركة الزاوية الظاهرية للشمس عبر السماء ، يعرف وقت الظهيرة بأنه الوقت الذي تكون الشمس فيه تعبر دائرة نصف النهار

٢. الوقت القياسي ( standard time)

الزمن المعطي بالساعة المحلية .

الوقت الشمسي هو الزمن المستخدم لجميع علاقات الزوايا الشمسية (وهذا لا يتطابق مع الوقت القياسي )

٣. خط العرض Φ (latitude)

هو الموضع الزاوي للنقطة المدروسة بالنسبة الي مستوي خط الاستواء ، وبفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء .

أو هو الموقع الجنوب أو الشمال الزاوي من خط الاستواء ، الشمال موجب :

$$-90^\circ \leq \Phi \leq +90^\circ$$

٤. الميل ($\delta$) (declination) ( أو زاوية الانحراف الشمسي )

هو المسافة الزاوية لأشعة الشمس وقت الظهيرة الشمسية (أي عندما تكون الشمس عند الزوال المحلي ) بالنسبة الي مستوي خط الاستواء (أي الزاوية بين الخط الواصل بين مركزي

الأرض والشمس ومسقط هذا الخط علي مستوي خط الاستواء )
- شمالاً تفرض موجبة :
(الانقلاب الصيفي) $23.5° \geq \delta \geq -23.5°$ (الانقلاب الشتوي )

٥. المنحدر ($\gamma$) (slope)
هي الزاوية بين مستوي سطح الغرض والمستوي الأفقي (تشير $\gamma > 90°$ أن جهة السطح متجهه الي أسفل )
$0.0° \leq \gamma \leq 180°$

٦. زاوية السمت ($\theta_z$)( Zenith angle ) :

هي الزاوية بين خط السمت (الذروة ) وأشعة الشمس ، هذا يعني ، زاوية سقوط أشعة الحزمة علي السطح الأفقي ($0 \leq \theta_z \leq 90°$ عندما تكون الشمس أعلي الأفق)

٧. زاوية الارتفاع الشمسى ($\beta$) ( Solar altitude angle ):

هي الزاوية

بين أشعة الشمس والمستوي الأفقي ، وهي المكملة لزاوية السمت ( zenith angle) ($\beta = 90° - \theta_z$)

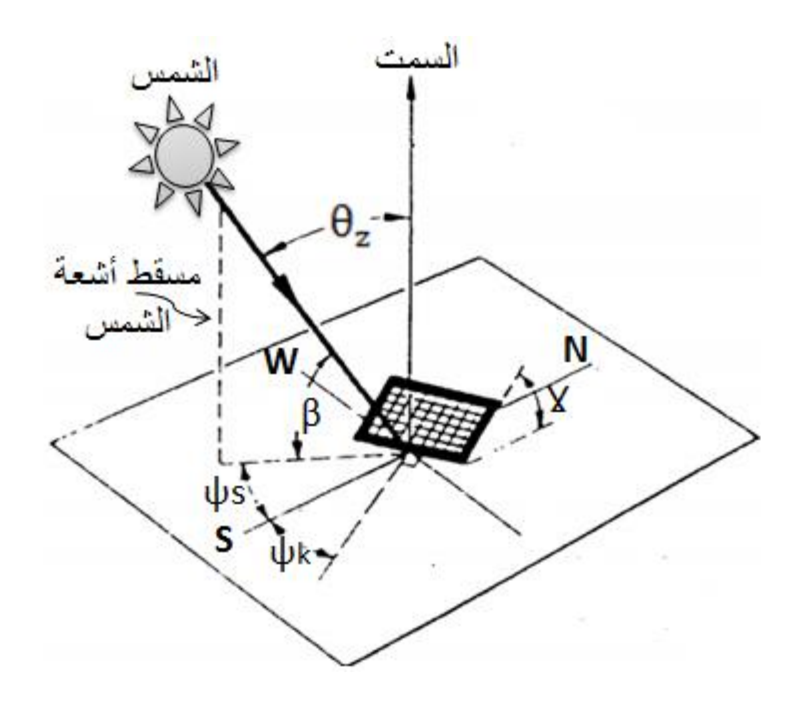
٨. زاوية السمت الشمسي الأفقية ($\psi s$) ( Solar azimuth angle ):

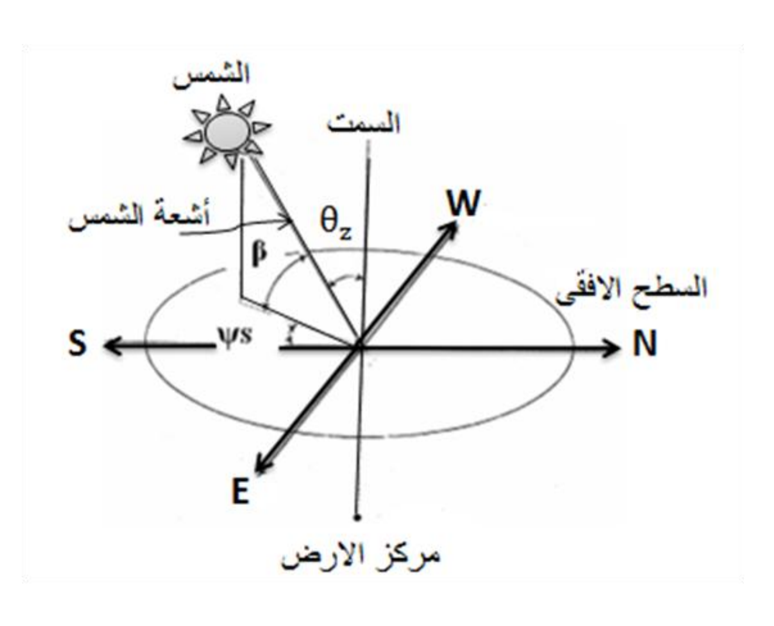
هي الزاوية المقاسة في المستوي الأفقي بين الجنوب ومسقط أشعة الشمس ، ويكون الاتجاه نحو الشرق الجنوبي سالبا ، والاتجاه نحو الغرب الجنوبي موجبا ، أي أن ($-180° \leq \psi s \leq +180°$)

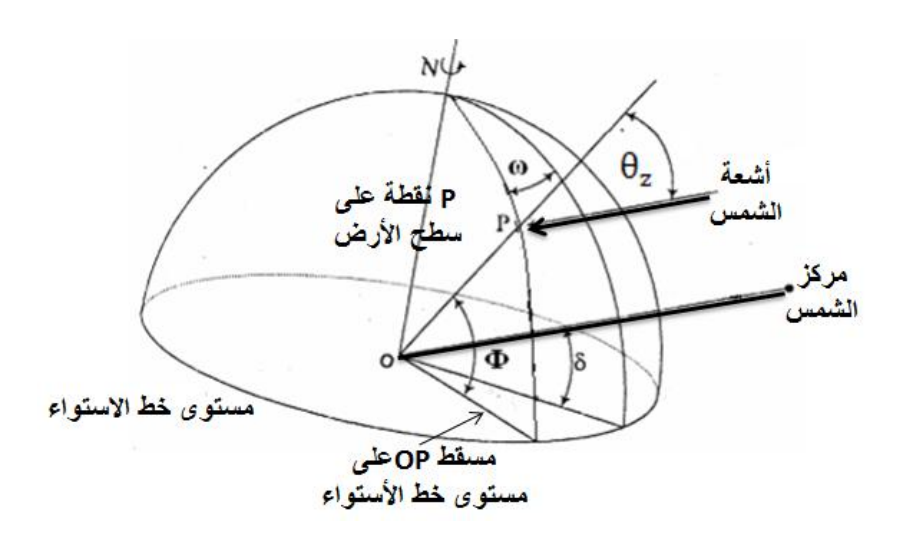
٩. زاوية سمت السطح ($\psi k$) (surface azimuth angle)
هي الزاوية المقاسة فى المستوي الأفقي بين مسقط المستقيم المتعامد مع السطح والجنوب ، والاتجاه نحو الغرب يعد موجبا
$-180° \leq \psi k \leq +180°$

١٠.الزاوية الساعية (ω) (Hour angle):

تعرف الزاوية الساعية لنقطة ما علي سطح الأرض بأنها الزاوية الواجب أن تدورها الأرض ليصبح خط طول هذه النقطة تحت الشمس مباشرة ، في شكل (١٢) هي الزاوية المقاسة علي مستوي خط الاستواء بين مسقط خط الطول ومسقط الخط الواصل بين مركزي الارض والشمس . عند الظهيرة تساوي الزاويه الساعيه الصفر ، وتفرض موجبه بعد الظهر حيث ان تحرك الارض علي خط الطول يستغرق ساعة واحدة .






شكل (١٢) الزوايا الشمسية

**كتلة الهواء (طاقة شمسية ) (Air Mass):**

تشير كتلة الهواء الي طول المسار البصري المباشر الذي يخترق الغلاف الجوي (Atmosphere). ويرمز لها بالحروف AM . تستخدم كتلة الهواء للمساعدة في تحديد خصائص الطيف الشمسي ، حيث تضعف أداء الخلايا الشمسية في ظل ظروف محددة ، اذا تعامدت الشمس علي سطح الارض ،عندئذ يمر مسار ضوء الشمس خلال كتلة الهواء بالغلاف الجوي ويرمز لهذه الحالة ب AM1 ، في جميع الحالات الاخري ، يكون مسار الاشعاع الشمسي أطول خلال الغلاف الجوي وهذا يعتمد علي ارتفاع الشمس .

معامل كتلة الهواء (Air Mass Coefficient):

يشير الي طول مسار الاشعاعات الشمسية خلال الغلاف الجوي الساقط بزاوية $\theta_z$ بالنسبة الي العامودي علي سطح الأرض ، نحصل علي عامل كتلة الهواء من المعادلة التالية :

$$AM = \frac{L}{L_\circ} = \frac{1}{COS\ \theta_z}$$

حيث

L = طول المسار خلال الغلاف الجوي

(Path length through atmosphere)

$L_\circ$ = طول مسار السمت العادي الي سطح الأرض عند مستوي البحر

( zenith path length normal to earth's surface at sea level

$\theta_z$ = زاوية السمت (zenith angle )

يوضح شكل (١٣) تمثيل كتلة الهواء

معيار AM0 :

يشير الي الطيف خارج الغلاف الجوي ، والذي يقترب من الجسم الأسود ٥٨٠٠ كلفن ، ويعني " عدم وجود أغلفة جوية " ، هذا المعيار يستخدم للخلايا الشمسية المستخدمة لتطبيقات الطاقة الفضائية ، مثل تلك الموجودة علي أقمار الاتصالات .

معيار AM1 :

يشير الي الطيف بعد عبوره الغلاف الجوي الي مستوي سطح البحر مع وجود الشمس فوقه مباشرة ، أي أن $\theta_z=0.0$ وتكون $COS\ \theta_z = 1$ وبالتالي يشار له ب AM1

هذا المعيار يستخدم في المناطق الاستوائية والمدارية ، حيث يعطي تقدير جيد لأداء الخلايا الشمسية

معيار AM1.5 :

هذا المعيار يقابل سماكة غلاف جوي حوالي 1.5 مرة من السماكة في حالة المعيار AM1 .

وعنده تكون زاوية السمت $\theta_z = 48.2°$ ، وتكون $1.5 = \frac{1}{\cos\theta_z}$ وبالتالي يشار له ب AM 1.5 ، في صناعة الطاقة الشمسية يستخدم المعيار AM1.5 لجميع الاختبارات المعيارية أو لتصنيف خلايا أو وحدات الطاقة الشمسية الأرضية .

من المعيار AM2 الي المعيار AM3:

هذا المدي مفيد لتقدير متوسط الأداء الكلي للخلايا الشمسية المثبتة علي مناطق مرتفعة مثل الارتفاعات الموجودة في شمال أوروبا ، بالاضافة الي أنه مفيد لتقدير الأداء في فصل الشتاء في المناطق المعتدلة ، فمثلا معامل كتلة الهواء أكبر من 2 في كل ساعات النهار في فصل الشتاء عند نطاقات مساويه أو اقل من 37 درجة

$$\theta_z = 60° , \quad \frac{1}{COS\ \theta_z} = 2 \quad \rightarrow AM2$$

$$\theta_z = 70° , \quad \frac{1}{COS\ \theta_z} = 3 \quad \rightarrow AM3$$

معيار AM38 :

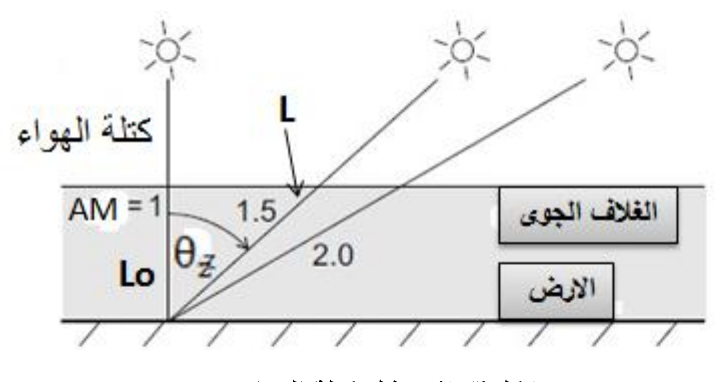
هذا المعيار يشير الي كتلة هوائية بالاتجاه الأفقي (90°) عند مستوي سطح البحر.

يوضح شكل (١٣) أمثلة لمعيار كتلة الهواء.

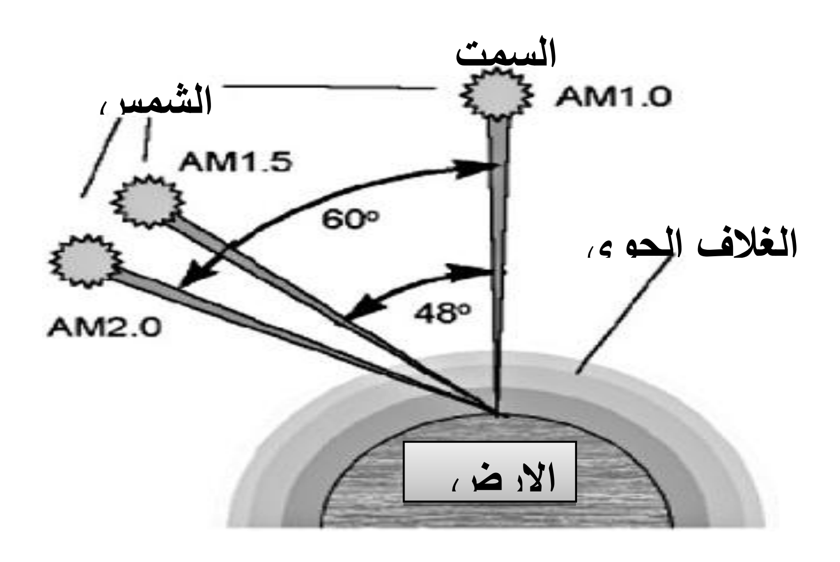
ويوضح شكل (١٤) تمثيل أمثلة لكتلة الهواء.

ويبين شكل (١٥) وضع الشمس وقيم معامل كتلة الهواء وقت الظهيرة لأيام مختلفة فى مدينة القاهرة / مصر

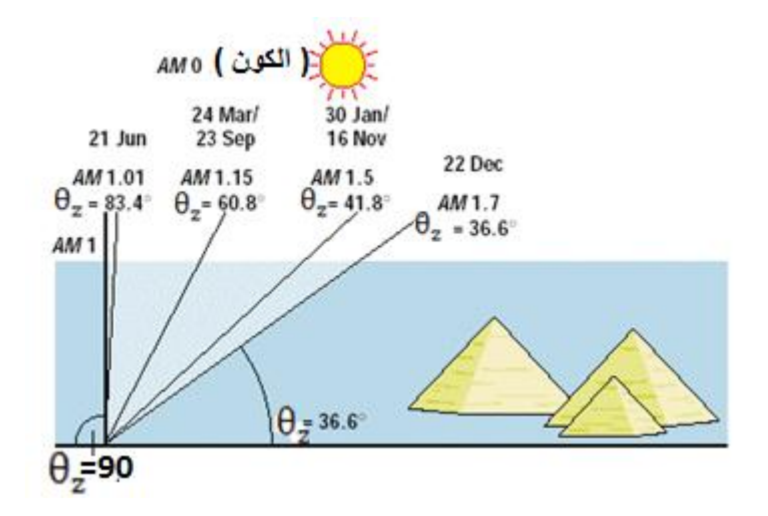
ويبين شكل (١٦) وضع الشمس وقيم معامل كتلة الهواء وقت الظهيرة لأيام مختلفة فى مدينة برلين / ألمانيا




شكل(١٣) تمثيل كتلة الهواء

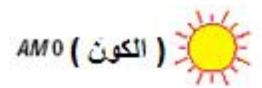


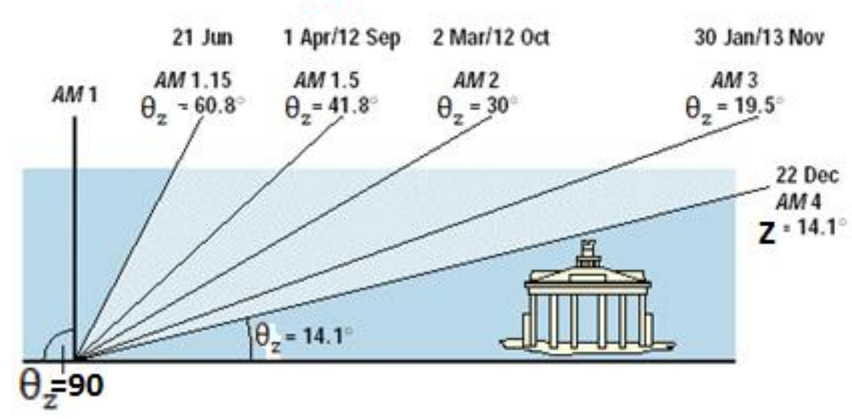

شكل (١٤) تمثيل أمثلة لكتلة الهواء




شكل (١٥) وضع الشمس وقيم معامل كتلة الهواء وقت الظهيرة

لأيام مختلفة فى مدينة القاهرة / مصر




شكل (١٦) وضع الشمس وقيم معامل كتلة الهواء وقت الظهيرة

لأيام مختلفة فى مدينة برلين / ألمانيا

# الباب الثالث

# حساب الاشعاع الشمسى

# Solar Radiation Calculation

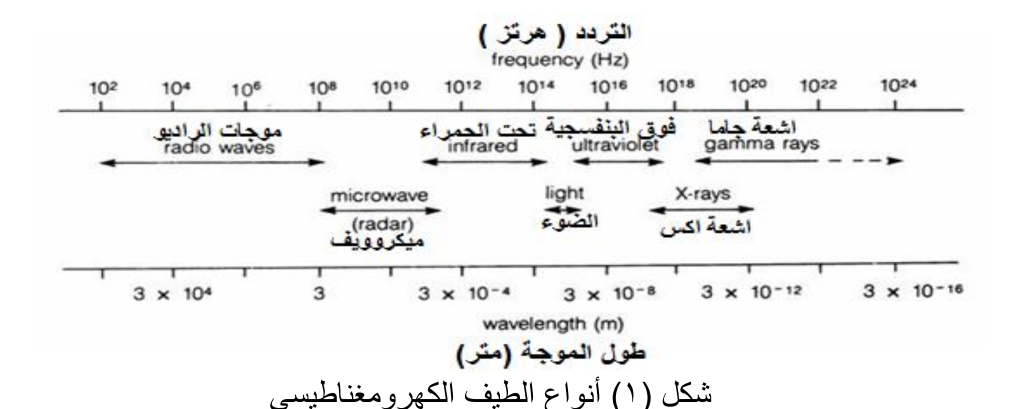
يختلف الاشعاع الشمسى الواصل الى سطح الارض فى الكمية والخصائص عن الاشعاع الشمسى الخارجى (extraterrestrial solar radiation) ، حيث ينعكس جزء من الاشعاع بواسطة الضباب . تتفاعل المواد الكيميائية مع اشعة الشمس فتمتص موجات معينة ، مثل انتزاع الاشعة فوق البنفسجية من خلال طبقة الاوزون فى الغلاف الجوى العلوى ، مؤديا الى تقليل الاشعة ذات الطول الموجى القصير التى تصل الى سطح الارض . يمتص كل من بخار الماء وثانى اكسيد الكربون بعض الطاقة فى مدى الاشعة تحت الحمراء . جزء من الاشعاع تنتثر ( Scattered ) بواسطة قطرات الضباب وجزيئات الاتربة .

## الطيف الشمسى ( Solar Spectrum)

تكون اغلب الطاقة المستقبلة من الشمس عبارة عن اشعة كهرومغناطيسية فى صورة موجات

## الطيف الكهرومغناطيسى ( Electromagnetic Spectrum )

هو مدى جميع انواع الاشعة الكهرومغناطيسية على اساس طول الموجة ، كما هو واضح فى شكل (١)

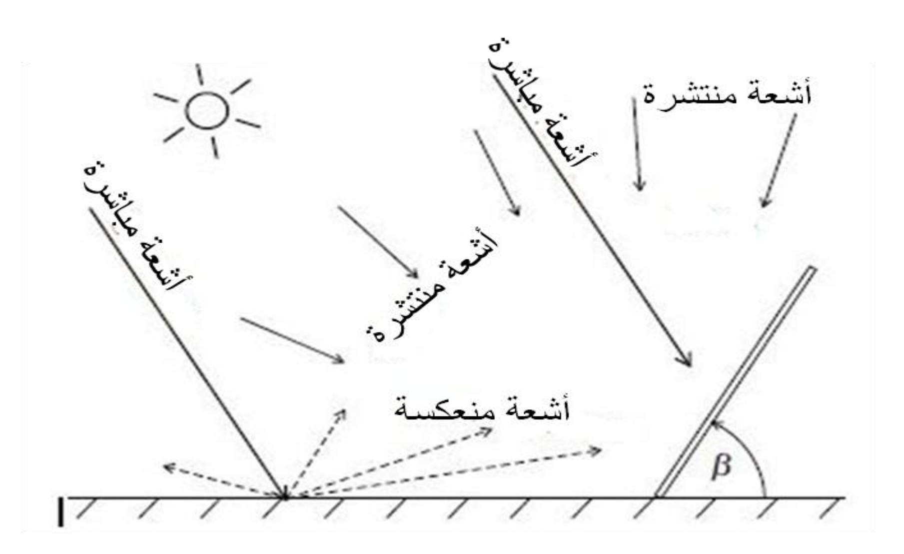



شكل (١) أنواع الطيف الكهرومغناطيسى

في هذا الفصل سيتم حساب الاشعاع الشمسي الساقط علي سطح افقي او سطح مائل حيث سيتم اجراء الحسابات الآتية:

- الاشعاع المباشر
- الاشعاع المنتشر
- الاشعاع المنعكس
- الاشعاع الخارجي
- معامل النفاذية
- زاوية السمت
- الوقت الشمسي المحلي
- زمن الشروق والغروب

يوضح شكل (٢) أنواع الاشعاع الشمسى




شكل (٢) أنواع الاشعاع الشمسى

يمكن حساب مقدار الاشعاع الشمسي (solar radiation) كالآتي:
إجراء قياسات عملية وبناء جداول قاعدة بيانات تبين مقدار الاشعاع الشمسي المقاس الساقط علي منطقة معينة.
إستخدام المعادلات الرياضية لحساب الاشعاع الشمسي خلال أي فترة زمنية.

فيما يلي سيتم عرض طريقة "هوتل Hottel,1976" لحساب الاشعاع الشمسي ، هذه الطريقة تعتمد علي:
ان السماء صافية
تأخذ في الاعتبار المتغيرات : زاوية السمت ، ارتفاع المنطقة المراد حساب الاشعاع لها ونوع المناخ

الاشعاع الكلي الساقط علي سطح افقي يكون مجموع الاشعاع المباشر (direct) و الاشعاع المنتشر (diffuse) ، وفي حالة الساقط علي سطح مائل يتم اضافة الاشعاع المنعكس (reflected)

أولا: حساب الاشعاع علي سطح افقي (Horizontal Surface)
يمكن حساب الاشعاع الشمسي من المعادلات الآتية:

$$\mathrm{H_t = H_b + H_d} \quad \rightarrow (1)$$

$$\mathrm{H_b = H_{on}.\,\tau_b.\cos\theta_z} \quad \rightarrow (2)$$

$$H_d = H_{on}.\,\tau_d.\cos\theta_z \quad \rightarrow (3)$$

حيث:

$\mathrm{H_t}$ = الاشعاع الكلي المستقبل (الساقط) علي سطح افقي( $W/m^2$)

$\mathrm{H_b}$ = الاشعاع المباشر المنقول خلال حالة جو نقي ( $W/m^2$)

$\mathrm{H_d}$ = الاشعاع المنتشر خلال سماء صافية ( $W/m^2$)

$H_{on}$ = الاشعاع الشمسي الخارجي (extraterrestrial solar radiation) المقاس علي سطح خلال يوم من ايام السنة

$\tau_b$ = معامل النفاذ الجوي (atmospheric transmittance) للاشعاع الشمسي المباشر

$\tau_d$ = معامل النفاذية الجوي للاشعاع الشمسي المنتشر

$\theta_z$ = زاوية السمت

لحساب المعادلات (١) ، (٢) ، (٣) يتم اتباع الخطوات التالية:

١) حساب الاشعاع الشمسي الخارجي( $H_{on}$ ) خلال اي يوم من ايام السنة وذلك طبقا للمعادلة (٤)

$$H_{on} = G_{sc}[1 + 0.034 \ \cos\frac{360n}{365.24}] \quad \rightarrow (4)$$

حيث:

$G_{sc}$ = ثابت شمسي (solar constant) وهو مقدار ثابت ويساوي ( 1353 ) $W/m^2$

n= رقم اليوم في السنة بداية من يناير ، والذي يمكن حسابه طبقا للمعادلة (٥)

$$n = 30(M) + 0.6(M - 3) - 30.5 + (N) \quad \rightarrow (5)$$

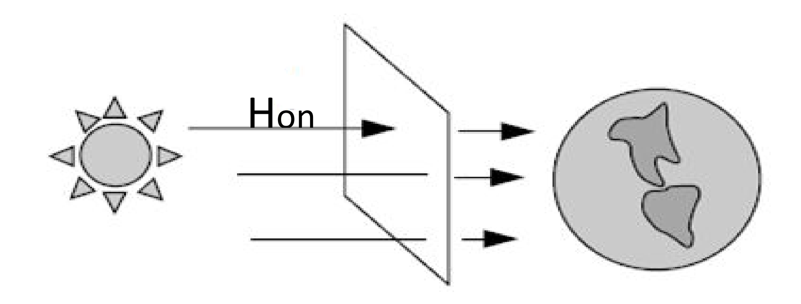
حيث:

M = رقم الشهر في السنة من ١ الي ١٢

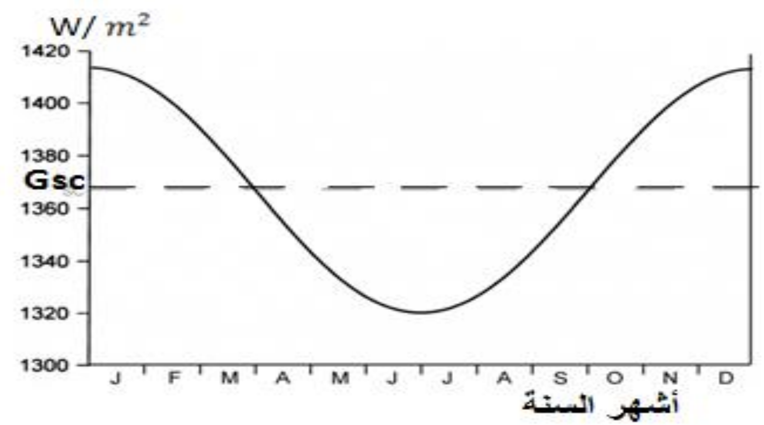
N = رقم اليوم في الشهر

يوضح شكل (٣) تمثيل الاشعاع الشمسى الخارجى $H_{on}$

ويوضح شكل (٤) تغير الاشعاع الشمسي الخارجي ($H_{on}$ ) خلال أشهر السنة




شكل (٣) الاشعاع الشمسي الخارجي




شكل (٤) تغير الاشعاع الشمسي الخارجي ($H_{on}$ ) خلال أشهر السنة

مثال :

احسب الاشعاع الشمسى الخارجى يوم ١٣ فبراير أذا كان الثابت الشمسى 1367 W/$m^2$

الحل :

M = 2

N = 13

باستخدام المعادلة (٥) بحصل على n

n = 42

باستخدام المعادلة (٤) نحصل على $H_{on}$

$H_{on}$ = 1402 W/$m^2$

٢) حساب معامل النفاذية الجوي للاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر وذلك طبقا للمعادلتين (٦) ، (٧)

$$\tau_b = a_o + a_1 * e^{(-\frac{k}{cos\theta_z})} \rightarrow (6)$$

$$\tau_d = 0.271 - 0.2939\ \tau_b \rightarrow (7)$$

حيث:

a ، $a_o$ ، k = ثوابت جوية عند ارتفاع رؤية محدد ونحصل عليها من المعادلات (٨) ، (٩) ، (١٠)

$$a_o = r_o a_o^* \rightarrow (8)$$
$$a_1 = r_1 a_1^* \rightarrow (9)$$
$$\mathrm{k} = r_k k^* \rightarrow (10)$$

حيث:

$r_o$ ، $a_1$ ، $r_k$ = معاملات تصحيح جوية (climate correlations) نحصل عليها من جدول (١) عند ارتفاع رؤية 23 km & 5 km

$a_o^*$، $a_1^*$، $k^*$ = عوامل تصحيحية نحصل عليها من المعادلات (١١) ، (١٢) ، (١٣) في حالة A=23 km؛ ومن المعادلات (١٤) ، (١٥) ، (١٦) في حالة A=5 km

A = ارتفاع الرؤية للموقع ( بوحدة km) (altitude visibility)

جدول (١) معاملات تصحيح حزمة اشعاع طبقا لحالة المناخ

| نوع المناخ | $r_o$ | | $r_1$ | $r_k$ |
|---|---|---|---|---|
| | 23 km | 5 km | | |
| المناطق الاستوائية (Tropical) | 0.95 | 0.92 | 0.98 | 1.02 |
| صيف خط العرض الوسطي (Mid-latitude summer) | 0.97 | 0.96 | 0.99 | 1.02 |
| شتاء خط العرض الوسطي (Mid-latitude winter) | 1.03 | 1.04 | 1.01 | 1.00 |
| صيف المناطق شبه قطبية (subarctic summer) | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 1.01 |

[Ref. Decarli et al. 1986 , Hottel 1976, Parker 1991]

For A =23 km

$a_o^* = 0.4237 - 0.00831\,(6 - A)^2$ → (11)

$a_1^* = 0.5055 - 0.00595\,(6.5 - A)^2$ → (12)

$k^* = 0.2711 - 0.01858\,(2.5 - A)^2$ → (13)

For A =5 km

$a_o^* = 0.2538 - 0.0063\ (6 - A)^2$ → (14)

$a_1^* = 0.7678 - 0.0010\ (6.5 - A)^2$ → (15)

$k^* = 0.2490 - 0.0810\ (2.5 - A)^2$ → (16)

٣) حساب زاوية السمت
باستخدام معادلة (١٧)

$\theta_z = \cos^{-1}[\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega]$ → (17)

$\varphi$ = زاوية خط العرض (latitude angle)
بفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء وسالب جنوب خط الاستواء
($-90° < \varphi > 90°$)
$\delta$ = زاوية الانحراف الشمسي (Declination)
والتي يتم حسابها باستخدام المعادلة (١٨)
n = رقم اليوم في السنة
$\omega$ = الزاوية الساعية (solar hour angle) (والتي يرمز لها بالرموز HRA)
والتي يتم حسابها باستخدام المعادلة (١٩)
LST = الوقت الشمسي المحلي ويقاس بالساعات (Local Solar Time)

$\delta = 23.45\ \sin[(\frac{360}{365})(284 + n)]$ → (18)

$\omega = 15°\ (LST - 12) \quad = \quad HRA$ → (19)

٤) حساب الوقت الشمسي المحلي *(LST)*

حيث ان جميع الزوايا المستخدمة في حسابات الاشعاع الشمسي الساقط هي الزوايا الشمسية ، لذا يكون من الضروري تحويل الوقت المحلي المستخدم في الحسابات الي الوقت الشمسي:

يحسب خط الطول القياسي للوقت المحلي لمنطقة ما من العلاقة:

$$LSTM = 15° (\Delta T_{GMT}) \quad \rightarrow (20)$$

حيث:

*LSTM* = خط الطول القياسي للوقت المحلي *(Local Standard Time Meridian)*

$\Delta T_{GMT}$ = الفرق بين التوقيت المحلي للمنطقة وتوقيت جرينيتش (بالساعات)

(توقيت جرينيتش هو مقياس زمني يعتمد علي دوران الارض حول نفسها في يوم واحد بالاعتماد علي خط الطول الذي يمر في بلدة جرينيتش في بريطانيا والذي اعتمد كنقطة مرجعية للتوقيت)

ويتم حساب معادلة الوقت طبقا للمعادلة:

$$EoT = 9.87\sin(2B) - 7.53\ \cos(B) - 1.5\ \sin(B) \quad \rightarrow (21)$$

$$B = \frac{360}{365}(d - 81) \quad \rightarrow (22)$$

حيث:

*EoT* = معادلة الوقت *(Equation of Time)* (الوحدة: دقيقة)

*B* = مقدار ثابت وداله في رقم اليوم من السنة (الوحدة: درجات)

*d* = عدد الايام من بداية السنة

تستخدم معادلة الوقت *EoT* (وهي معادلة تجريبية *empirical*) لتصحيح انحراف مدار الارض والميل المحوري الارضي.

يوضح شكل ( ٥ ) العلاقة بين معادلة الوقت وعدد الايام من بداية العام.

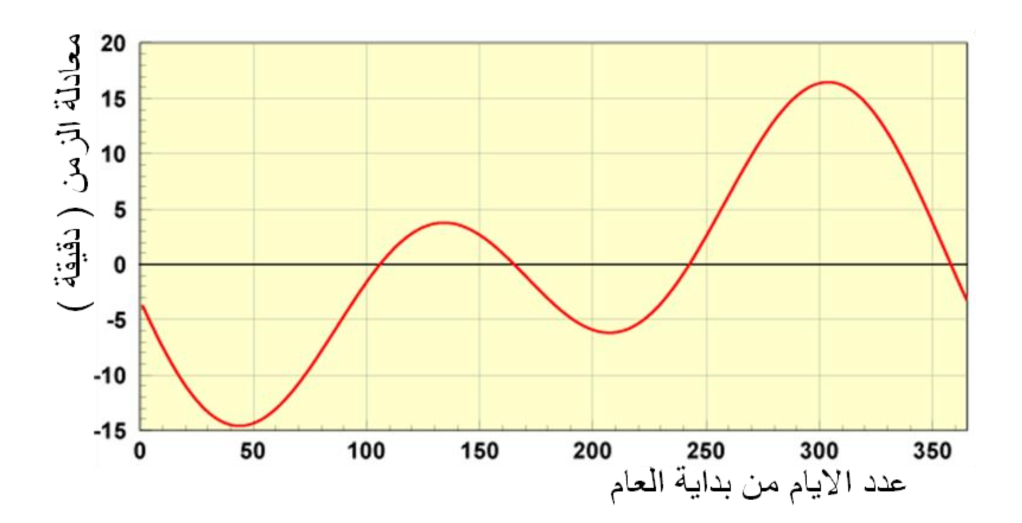
يحسب معامل تصحيح الزمن الصافي *(Time Correction Factor) (TC)* بالدقائق للوقت الشمسي المحلي *(LST)* خلال نطاق زمني معطي نتيجة اختلافات خطوط الطول *(longitude)* خلال نطاق الزمن طبقا للمعادلة (٢٣)

$$TC = 4(longitude - LSTM) + EoT \quad \rightarrow (23)$$

الرقم ٤ في المعادلة (٢٣) الخاصة بمعامل تصحيح الزمن *(TC)* ، والوقت المحلي *(local time) (LT)* نحصل علي الوقت الشمسي المحلي *(LST)* من المعادلة (٢٤):

$$LST = LT + \frac{TC}{60} \rightarrow (24)$$

يعوض بالمعادلة (٢٤) في المعادلة (١٩) للحصول علي الزاوية الساعية *(Hour Angle HRA or ω)* لتحويل الوقت الشمسي المحلي *(LST)* الي عدد من الدرجات الممثلة لحركة الشمس في الفضاء ، طبقا للتعريف فان الزاوية الساعية تساوي صفر عند الظهيرة ، لان الارض تدور *15°* في الساعة ، كل ساعة تبعد *15°* عن وقت الظهيرة تبعا للحركة الزاوية للشمس في الفضاء. في الصباح تكون الزاوية الساعية سالبة ، وبعد الظهر تكون موجبة.




شكل ( ٥ ) العلاقة بين معادلة الوقت وعدد الايام من بداية العام

٥) زمن الشروق والغروب:

من الضروري عند حساب الاشعاع الشمسي الساقط بمنطقة ما ، أن يتم حساب زمن شروق الشمس وزمن الغروب عند موقع وتاريخ معين.

تستخدم المعادلات (٢٥) ، (٢٦) ، (٢٧) الآتية:

$$H_{sr} = Time\ of\ sunrise = 12 - \frac{\omega_s}{15} \quad \rightarrow (25)$$

$$H_{st} = Time\ of\ sunset = 12 + \frac{\omega_s}{15} \quad \rightarrow (26)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\varphi \tan\delta) \quad \rightarrow (27)$$

حيث:

$\omega_s$ = الزاوية الساعة من الشروق الي الغروب

**ثانيا: حساب الاشعاع علي سطح مائل (Tilted or Inclined surface)**

تبعا للمعادلة (٢٨) نحصل علي الاشعاع الشمسي علي سطح مائل

$$H_{tt} = H_{bt} + H_{dt} + H_{rt} \quad \rightarrow (28)$$

حيث:

$H_{tt}$ = الاشعاع الكلي المستقبل (الساقط) علي سطح مائل ( $W/m^2$)

$H_{bt}$ = الاشعاع المباشر المنقول خلال حالة جو نقي علي سطح مائل ( $W/m^2$)

$H_{dt}$ = الاشعاع المنتشر خلال سماء صافية علي سطح مائل ( $W/m^2$)

$H_{rt}$ = الاشعاع المنعكس من الجهات المحيطة ( $W/m^2$)

تتم الحسابات طبقا للمعادلات التالية:

$H_{bt}$ = الاشعاع المباشر

$$= (H_{tt} - H_{dt})\cos\theta \quad \rightarrow (29)$$

$$H_{dt} = H_d \left|\frac{1+\cos\beta}{2}\right| \quad \rightarrow (30)$$

حيث:

$H_d$ = الاشعاع المنتشر (diffuse radiation) ( $W/m^2$)

$\beta$= زاوية ميل السطح (درجة)

وتكون معادلة الاشعاع المنعكس كالآتي:

$$H_{rt} = H_d \varepsilon \left| \frac{(1-\cos\beta)}{2} + H_d \varepsilon [1 + \sin^3 \frac{\beta}{2}](1 - \cos\frac{\beta}{2}) \right| . [1+\sin^2(\frac{\theta_z}{2})][|\cos\gamma|] \rightarrow (31)$$

حيث:

ε = قيمة انعكاس السطح (surface reflectance value)

γ = زاوية سمت السطح (surface solar azimuth angle) (درجات)

# الباب الرابع

# الأنظمة الفوتوفلتية
# Photovoltaic Systems

تعرف الظاهرة الفوتوفلتية بأنها عملية لتحويل الضوء (ضوء الشمس) إلى طاقة كهربائية مباشرة باستخدام الخواص الالكترونية لبعض المواد والتى تصنف ضمن أشباه الموصلات (Semiconductors)(مثل السليكون) والمركبات (مثل تولوريد الكادميوم أو الكادميوم ارسيناید)

أصل مصطلح الفوتوفلتية (photovoltaic) أنه يتركب من جزئين هما:

- من اليونانية كلمة ((Φῶs (phõs)) والتى تعنى الضوء
- ومن اسم فولتا (Volta) العالم الفيزيائي الايطالى

ومنذ عام ١٨٤٩ أصبح المصطلح photovoltaic ضمن مصطلحات اللغة الانجليزية



شكل (١) العالم الفيزيائي الايطالى فولتا

## استخدامات الطاقة الشمسية الكهربائية

اكتسبت المنظومات الفوتوفلتية أهميتها وذلك لاستخدامها في كثير من التطبيقات كمنظومات الاتصال في المناطق المعزولة وثلاجات الادوية في المناطق النائية والتي يصعب تغذيتها من الشبكة الكهربائية

وقد حاول الانسان منذ فترة بعيدة الاستفادة من الطاقة الشمسية واستغلالها، ولكن بقدر قليل ومحدود، ومع التطور الكبير في التقنية والتقدم العلمي الذي وصل إليه الانسان فتحت أبواب وآفاق عملية جديدة ومتطورة في مجال استغلال الطاقة الشمسية.

وتوجد بعض المشاكل لاستخدامات الطاقة الشمسية والموضحة فى جدول (١) والتى يمكن تجنبها وتفاديها بسهولة ، ولكن المميزات المتعددة لها ، والموضحة فى جدول (٢) ، تطغى على هذه المشاكل . تصنف تطبيقات الطاقة الشمسية ( الفوتوفلتية ) طبقا للقدرة الكهربائية ، يوضح جدول (٣) هذا التصنيف .

**جدول (١) بعض مشاكل استخدام الطاقة الشمسية**

| المشكلة | التوضيح |
|---|---|
| وجود الأتربة والغبار بالجو | أفضل طريقة لعلاج مشكلة الغبار والأتربة هي التنظيف المستمر على فترات لاتتجاوز ثلاثة أيام. وتختلف طرق التخلص من الغبار والأتربة من بلد إلى أخرى حسب طبيعة الطقس. |
| تخزين الطاقة الشمسية للاستفادة منها أثناء الليل أو الأيام المعتمة أو المغبرة | يعتمد تخزين الطاقة الشمسية على طبيعة الطاقة الشمسية وكميتها ونوع الاستخدام وفترة الاستخدام. عادة يفضل عدم استخدام معدات التخزين لتخفيض التكاليف. |
| حدوث تآكل وصدأ فى هيكل المجمعات الشمسية | يجب أن يكون الهيكل المعدنى معالج علاجا جيدا حتى لا يتأثر الهيكل بالرطوبة والعوامل الجوية الأخرى . |

**جدول (٢) مميزات وعيوب استخدام الطاقة الشمسية**

| المميزات | العيوب |
| --- | --- |
| - الشمس منبع لاينتهي من الطاقة<br>- مايصل إلى الأرض من الأشعة الشمسية يعادل أضعاف احتياجات البشرية من الطاقة<br>- يعتمد استخدامها على التكلفة الأولية فقط<br>- لأنها متوزعة على سطح الكرة الارضية فانها تصل إلى الجميع بدون الحاجة إلى نقلها وتوزيعها<br>- قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة مثل الحرارية والميكانيكية والكهربائية<br>- لاتحتاج اعادة التزويد بالوقود<br>- مصدر نظيف للطاقة من حيث تأثيرها على البيئة وغير خطرة الاستخدام<br>- لاتحتاج إلى أعمال صيانة<br>- عمر تشغيل طويل يصل إلى ٢٠ عاما<br>- بناء محطات الطاقة الشمسية وتشغيلها لايستغرق وقت طويل | - قليلة الكثافة لوحدة السطح (المساحة) بالمقارنة بأنواع الطاقة التقليدية<br>- عدم استمراريتها خلال اليوم مما يؤدي إلى مشاكل عملية في استخدامها<br>- صعوبة تخزين الطاقة بتكلفة اقتصادية منخفضة (أقصى تخزين للبطاريات لايدوم أكثر من ٥ أيام)<br>- تعتبر الخلايا الشمسية حساسة جدا وقابلة للكسر من أقل تأثير من الحيوانات أو الأحجار<br>- تحتاج إلى حيز كبير لوضع وحدات عديدة |

جدول (٣) تصنيف تطبيقات الطاقة الشمسية (الفوتوفلتية ) طبقا للقدرة الكهربائية

| توصيف القدرة الكهربائية | أمثلة من التطبيقات |
| --- | --- |
| قدرة منخفضة | • الحاسبات والألعاب الاليكترونية الساعات<br>• الأجهزة الاذاعية المسموعة<br>• شاحنات وسائط القدرة المنخفضة |

| | |
|---|---|
| قدرة متوسطة | • الانارة وبعض الأجهزة المنزلية<br>• أجهزة التليفزيون<br>• ثلاجات اللقاح والأمصال<br>• اشارات المرور والانذار<br>• هواتف الطوارئ |
| قدرة متوسطة /عالية | • طلمبات ضخ المياه<br>• محطات الاتصالات<br>• محطات الأقمار الصناعية الأرضية<br>• تغذية شبكة كهربائية عامة |

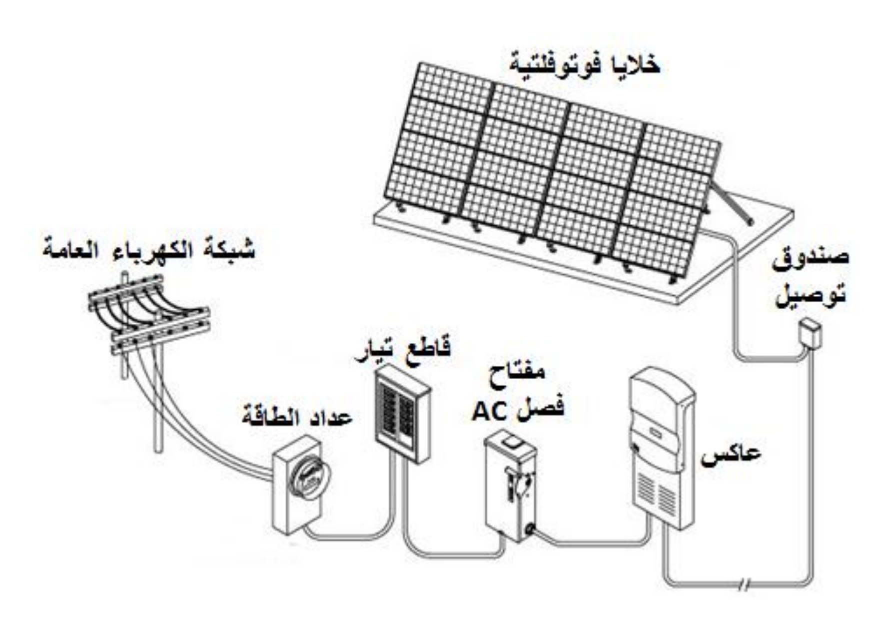
**مكونات الأنظمة الفوتوفلتية**

تكون المكونات الأساسية لنظام فوتوفلتية متصل بالشبكة (grid-connected PV system) بدون بطاريات ، كما فى شكل (٢) أو ببطاريات وهي:

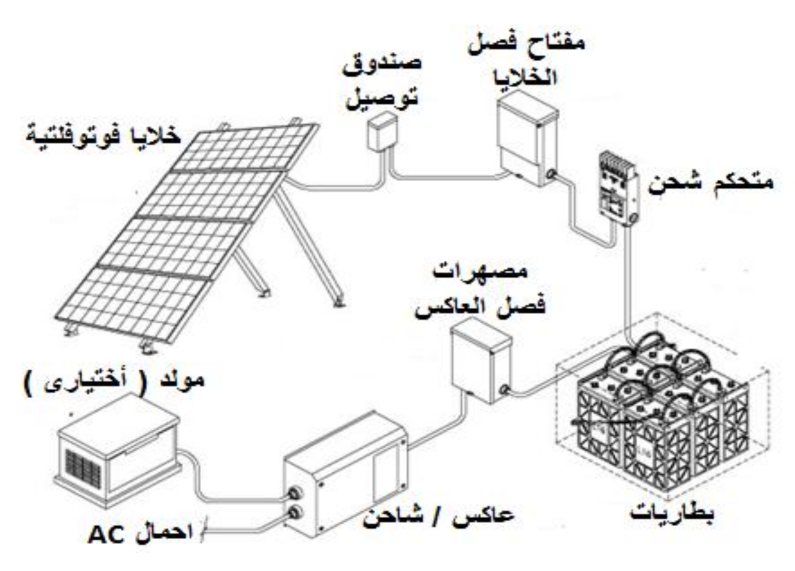
- موديولات الفوتوفلتية
- حوامل تثبيت المصفوفات
- معدات التأريض
- صناديق تجميع التوصيلات
- حماية ضد الصواعق (وهو غالبا جزء من مكونات صناديق التجميع)
- العاكس
- عدادات الطاقة
- مفاتيح الفصل
  - مفتاح فصل التيار المستمر للمصفوفة
  - مفتاح فصل التيار للعاكس
  - مفتاح فصل التيار المتردد للعاكس

في حالة احتواء النظام على بطاريات ، كما فى شكل (٣) ، عندئذ يضاف للمكونات الآتي:

- مجموعة بطاريات، وكابلات وهيكل لوضعها فيه
- متحكم شحن
- مفتاح فصل البطاريات




شكل (٢) نظام فوتوفلتية متصل الشبكة بدون بطاريات




شكل (٣) نظام فوتوفلتية ببطاريات

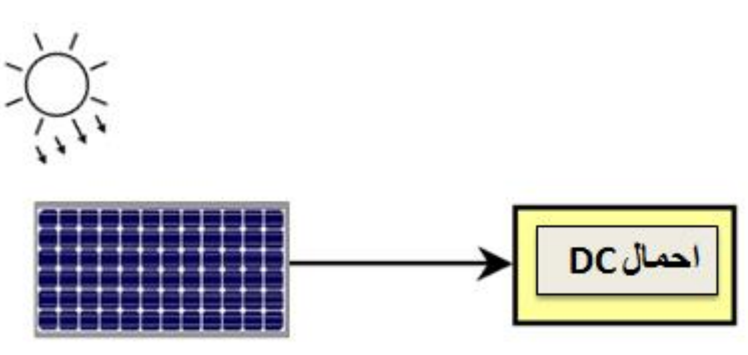
تصنف الأنظمة الفوتوفلتية إلى:

١. **أنظمة مستقلة عن الشبكة العامة (stand-alone)**

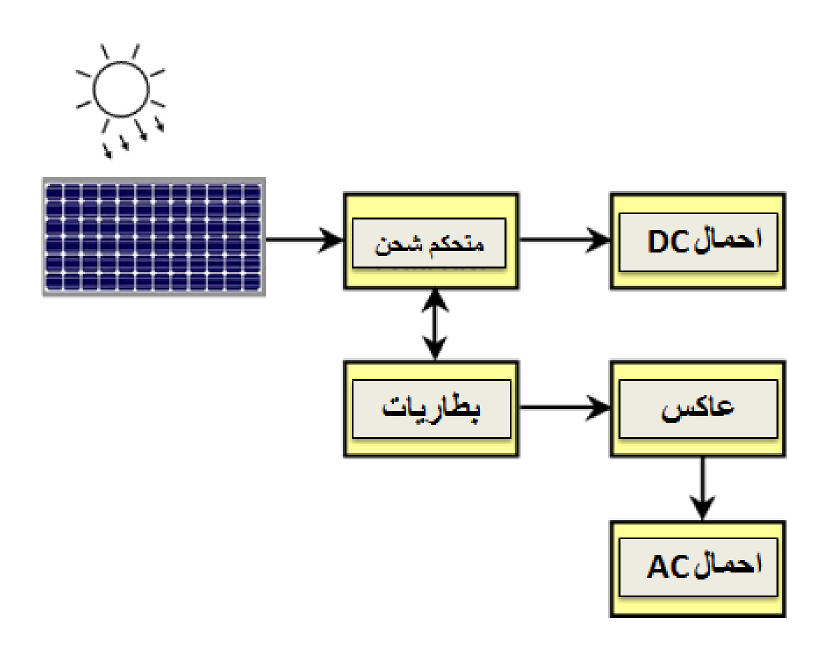
والتي يمكن أن تكون:

- عبارة عن موديولات فوتوفلتية للتغذية المباشرة لأحمال تيار مستمر DC ، كما فى شكل (٤) ، مثل تطبيقات مضخات المياه (water pumping) حيث يتم توصيل مخرج الموديول مباشرة إلى مضخة DC، خلال اليوم وبسطوع الشمس تخزن المياه بالخزان.
- عبارة عن موديولات فوتوفلتية وبطاريات وشاحن وذلك لتغذية أحمال تيار مستمر DC.
- موديولات فوتوفلتية وبطاريات وشاحن وعاكس وذلك لتغذية أحمال تيار مستمر DC وتيار متردد AC أو تيار متردد فقط كما فى شكل (٥) .

يمكن في هذا النوع توصيل مصدر تغذية احتياطي مثل: مولد ديزل- طاقة رياح- ..........




شكل (٤) نظام فوتوفلتية مستقل




شكل (٥) نظام فوتوفلتية مستقل يحتوى على بطاريات وعاكس

## ٢. **أنظمة مرتبطة بشبكة الكهرباء العامة (Grid – Tied)**

في هذا النوع يتم ربط النظام مباشرة مع الشبكة العامة لتوزيع الكهرباء وفي هذه الحالة لايحتاج إلى بطاريات للتخزين. عندئذ تكون جميع الأحمال مغذاة بالتيار (AC) ويتكون هذا النوع من مصفوفة فوتوفلتية وعاكس (DC/AC) كما فى شكل (٦) .

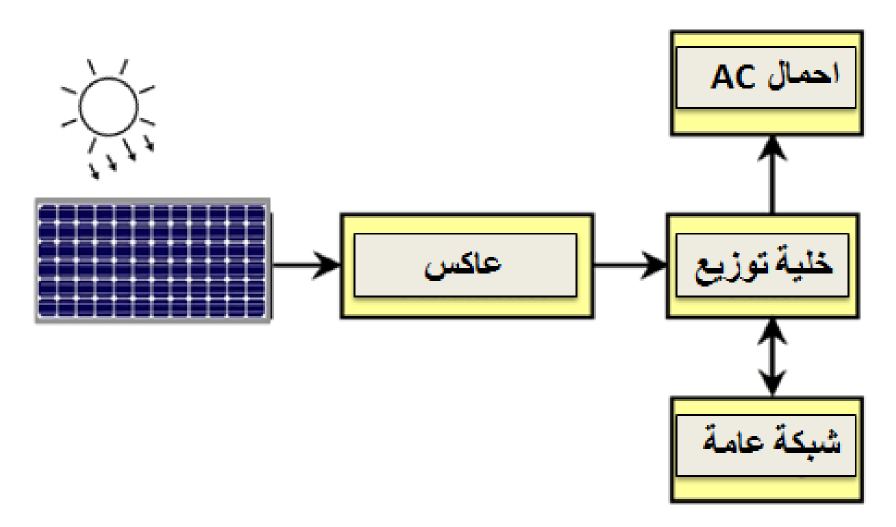
من مميزات هذا النوع عن الأنظمة المستقلة عن الشبكة :

- يمكن استخدام مصفوفة PV أصغر لتغذية نفس الأحمال بموثوقية.
- تكون مكونات باقي النظام أقل.

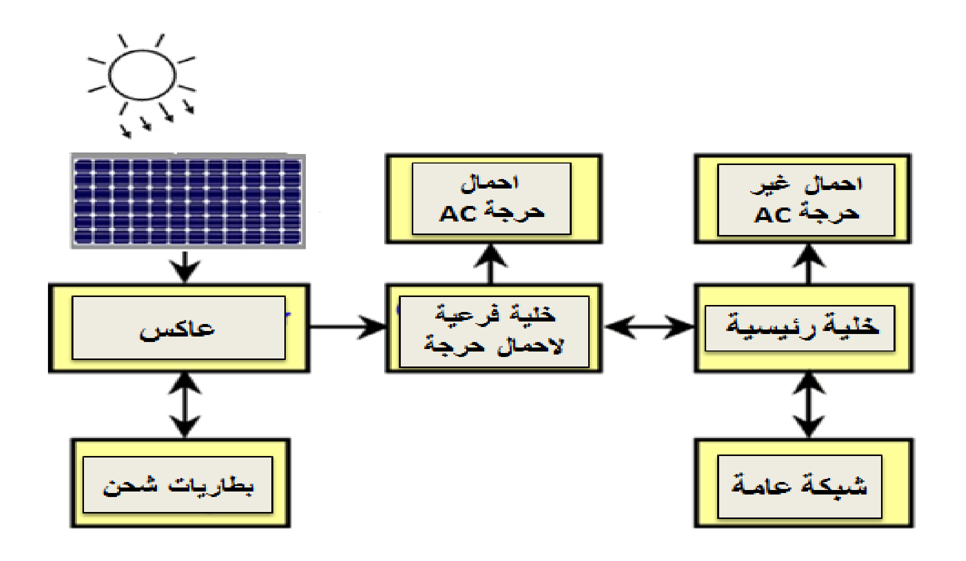
- لايحتاج إلى وسيلة تخزين الطاقة وتكاليف أقل نتيجة عدم وجود بطاريات لتدويرها أو تركيب جديد منها بعد انتهاء العمر الافتراضي، يمكن تركيب وسيلة التخزين حسب طلب العميل كما فى شكل (٧) .
- الاستفادة من وحدة البنية الأساسية للشبكة الكهربائية .
- يمكن الكفاية من الطاقة الفوتوفلتية المتاحة، وفي حالة الإحتياج إلى طاقة أكبر من المنتجة من الطاقة الفوتوفلتية عندئذ تستكمل من الشبكة العامة.

٣. **أنظمة مختلطة (هجين) (Hybrid system)**

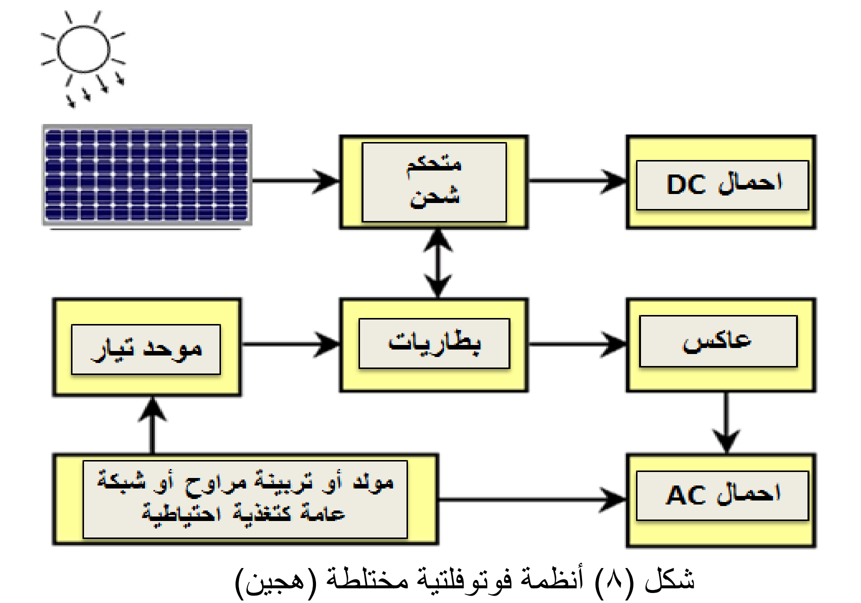
هذا النظام عبارة عن نظام مرتبط بالشبكة ومضاف له بطاريات للتخزين و/أو مولد وذلك للحصول على موثوقية عالية ومرونة في برنامج التشغيل ولكن بزيادة تكاليف يوضح شكل (٨) مثال لهذا النظام .




شكل (٦) أنظمة فوتوفلتية مرتبطة بشبكة الكهرباء العامة .




شكل (٧) أنظمة فوتوفلتية مرتبطة بشبكة الكهرباء العامة تحتوى على بطاريات لتغذية أحمال حرجة وقت ضياع الكهرباء من الشبكة العامة




شكل (٨) أنظمة فوتوفلتية مختلطة (هجين)

## المواد الأولية وبنية الخلايا الفوتوفلتية

تصنف المواد من حيث نوعية التوصيل الى:

أ- **مادة موصلة (conductor)**

هي وسط يسمح بمرور التيار الكهربائي خلاله.
أي المواد التي تحتوي على عدد كبير من الإلكترونات الحرة مثل النحاس والفضة والألومنيوم.

ب- **مادة عازلة (insulation)**

هي مادة ذات مقاومة شديدة عالية جدا فلاتسمح بانتقال الشحنات الكهربائية خلالها.
أي المادة التي تتكون من ذرات فيها قوى الربط بين الاليكترون الحر والنواة كبيرة جدا، حيث يكون من الصعب التغلب على طاقة الربط فيها. وهي لاتحتوي على إليكترونات حرة، مثل الكوارتز والبورسلين.

جـ- **مادة شبه موصلة (semiconductor )**

أشباه الموصلات هي مواد تتميز بخصائص كهربائية تقع بين خصائص جيدة التوصيل للكهرباء وبين خصائص المواد العازلة، فهي مواد عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق، وتقل مقاومتها بارتفاع درجة الحرارة أو عند تسليط فرق جهد كهربي عليها أو عند تعرضها لاشعاع بطاقة كافية. وهي المواد التي تحتوي على نسبة قليلة من الالكترونات الحرة، مثل السيليكون والجرمانيوم، هذه المواد هي عناصر رباعية التكافؤ (أي يحتوي غلاف الذرة الخارجي على أربعة اليكترونات ) ترتبط ذراتها معا بروابط تساهمية . يوضح جدول (٤) مقارنة بين أنواع هذه المواد.

جدول (٤) مقارنة بين أنواع المواد من حيث نوعية التوصيل

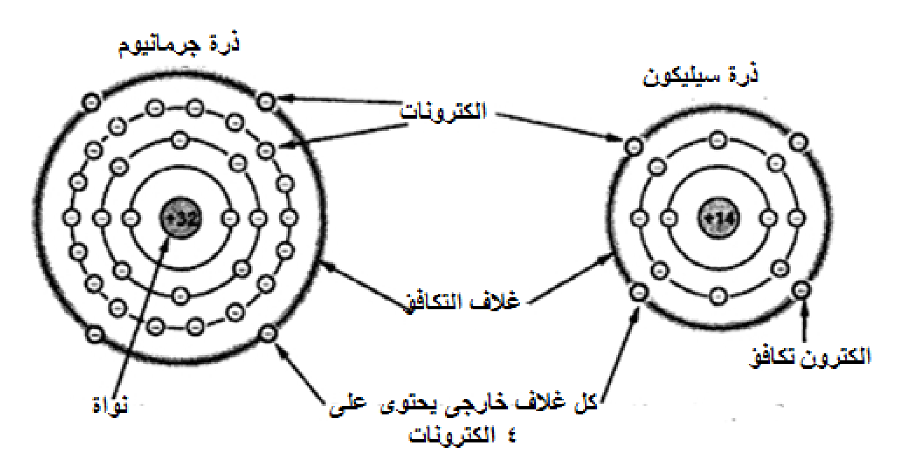
| وجه المقارنة | المواد الموصلة | المواد العازلة | المواد أشباه الموصلات |
|---|---|---|---|
| المقاومة النوعية | صغيرة جدا | كبيرة جدا | أكبر من الموادالموصلة وأقل من المواد العازلة |
| طاقة الفجوة (النطاق المحظور) | لايوجد نطاق محظور | يوجد - والطاقة اللازمة لعبوره كبيرة جدا | صغير نسبيا- تستطيع بعض الالكترونات بإكساب الطاقة عبور النطاق المحظور |
| نطاق التوصيل | مملوء نسبيا بالالكترونات | خالي من الالكترونات | خالي من الالكترونات في درجة الصفر المطلق |

**تصنف المواد شبه الموصلة إلى:**

- **مواد شبه موصلة نقية**

تتصف بأن لها ترتيبا بلوريا حيث تترتب ذراتها وفق نظام هندسي منسق ومن أمثلتها السيليكون الذي يحتوي على ١٤ إلكترونا.. منهم عشرة مرتبطة بالنواة ..وأربعة في الغلاف الخارجي لنواة الذرة، والجرمانيوم الذي يحتوي على ٣٢ إلكترونا منها ٢٨ إلكترون مرتبط بالنواة وأربعة في الغلاف الخارجي لنواة الذرة.

يوضح شكل ( ٩ ) الترتيب البلوري لمادتي السيليكون والجرمانيوم.




شكل ( ٩ ) الترتيب البلوري لمادتي السيليكون والجرمانيوم

- **مواد شبه موصلة غير نقية**

هي نفس المواد النقية: السيليكون والجرمانيوم ولكن تم إضافة نسبة من الشوائب إليها مثل: الزرنيخ، الأنتيمون،الفوسفور، الجاليوم، الأنديوم، والبورون، بغرض جعل المواد شبه الموصلة غير النقية تقبل عملية التوصيل الكهربي.

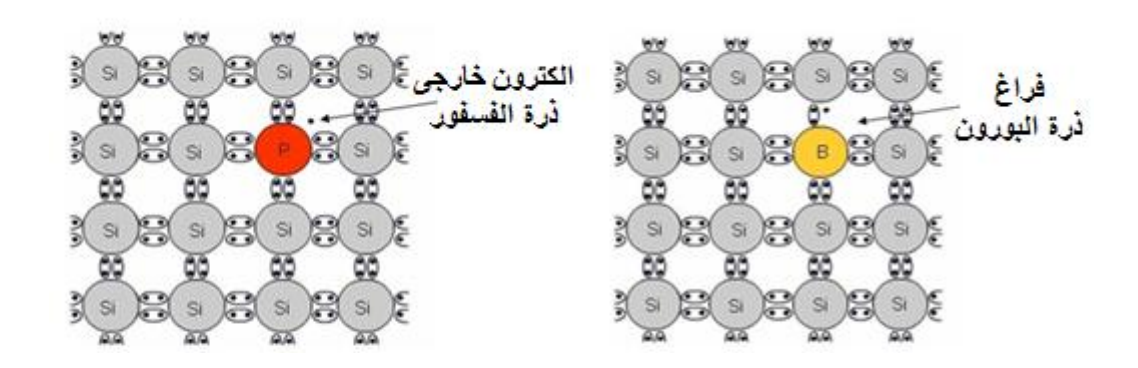
تنقسم المواد شبه الموصلة غير النقية إلى:

- مواد شبه موصلة مضاف اليها شوائب ذات ذرات عناصر خماسية التكافؤ، مثل: الزرنيخ أو الأنتيمون أو الفسفور .. وتكون ناقلات الشحنة الكهربائية فيها هي الالكترونات الحرة. وتعرف هذه المواد بالنوع "N"
- مواد شبه موصلة مضاف إليها شوائب ذات ذرات عناصر ثلاثية التكافؤ، مثل: الجاليوم أو الأنديوم أو الباريوم .. وتكون ناقلات الشحنة الكهربائية فيها هي الفجوات (أو الفراغ الذي يخلفه الإلكترون المتحرر من الرابطة التساهمية) وتعرف هذه المواد بالنوع "P" . يوضح جدول (٥) رموز والعدد الذري لبعض هذه المواد. شكل (١٠) يوضح بلورة شبه موصل نقي (سيليكون Si) مخلوط ببعض ذرات شائبة ثلاثية التكافؤ (البورون boron) مكونة فجوة (hole) وتعرف هذه التركيبة بالبلورة السالبة N-type Silicon وشكل (١١) يوضح بلورة شبه موصل نقي مخلوطة

ببعض ذرات شائبة خماسية التكافؤ (الفوسفور phosphorous) مكونة إلكترون حر (electron) وتعرف هذه التركيبة بالبلورة الموجبة -P type silicon

جدول (٥) الرمز والعدد الذري لبعض المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية

| المـــــادة | الرمز | العدد الذري |
|---|---|---|
| سيليكون (Silicon) | Si | ١٤ |
| جرمانيوم ( Germanium ) | Ge | ٣٢ |
| زرنيخ (Arsenic ) | As | ٣٣ |
| أنتيمون (Antimony) | Sb | ٥١ |
| فوسفور (Phosphorous ) | P | ١٥ |
| جاليوم (Gallium) | Ga | ٣١ |
| إنديوم (Indium) | In | ٤٩ |
| بورون (Boron) | B | ٥ |
| باريوم (Barium) | Ba | ٥٦ |
| سلينيوم (Selenium ) | Se | ٣٤ |
| نحاس (Copper) | Cu | ٢٩ |
| تليوريوم (Tellurium ) | Te | ٥٢ |




**شكل (١٠) موصل من النوعN** **شكل (١١) موصل من النوع P**

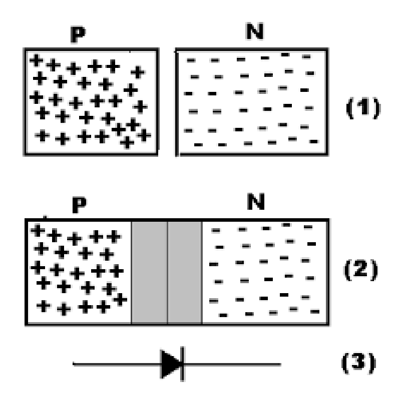
**<u>الخلية الفوتوفلتية (PV cell)</u>**

- في بداية الثلاثينات تم تركيز التفكير والبحث على ايجاد مواد قادرة على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، وقد تم اكتشاف مادة تسمى "السيلينيوم" ( Selenium ) التي تتأثر مقاومتها الكهربائية بمجرد تعرضها للضوء، وقد كان هذا الاكتشاف بمحض الصدفة حيث أن أساس البحث والدراسة كان لإيجاد مادة مقاومتها الكهربائية عالية لغرض تمديد كابلات الاتصالات في قاع المحيط الاطلسي.
- في بداية الخمسينات تم تطوير شرائح السيليكون ووضعها بأشكال وأبعاد هندسية معينة وقادرة على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية . تتكون الخلية الفوتوفلتية (أو الشمسية) من وصلة ثنائية (دايود: diode) كما فى شكل (١٢) من أشباه الموصلات والذي ينتج طاقة كهربائية عند سقوط الاشعاع الشمسي على سطحه ونفاذها خلال منطقة الاتصال (p-n junction) عموما الديود هو صمام اليكتروني له إلكترودان هما
  - ☒ أنود (Anode)

    هو الالكترود الموجب الذي تغادره الالكترونات في الديود

☒ كاثود (Cathode)

هو الالكترود السالب الذي يكون المصدر الأولي للإلكترونات في الديود




شكل (١٢) وصلة ثنائية (دايود: diode)

تعرف منطقة الاتصال (p-n junction) بأنها المنطقة المكونة من تلاقي مادتين شبه موصلتين إحداهما من الصنف p والاخرى من الصنف n، وتتميز بخلوها من حاملات الشحنة
(الالكترونات والفجوات) وبظهور جهد خلالهما يعرف "بجهد الحاجز". يصنع الديود من بلورة من السيليكون أو الجرمانيوم مطعمة بطريقة معينة بحيث تتميز فيها منطقتين هما:

- منطقة سالبة (n)

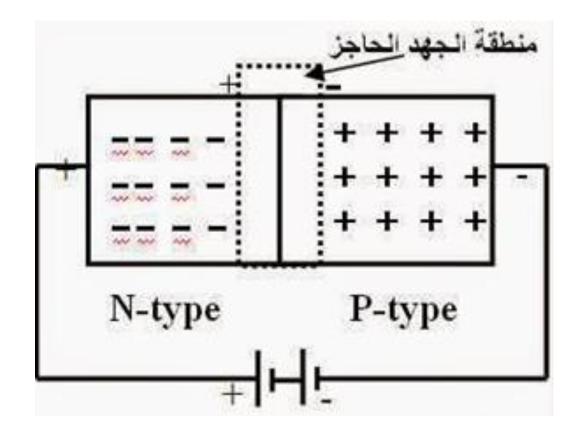
تحتوي على ذرات شبه الموصل النقي وذرات الشائبة خماسية التكافؤ (مثل الفوسفور) والتي تمنح الالكترونات .

- منطقة موجبة (p)

تحتوي على ذرات شبه الموصل النقي وذرات الشائبة ثلاثية التكافؤ (مثل البورون) والتي
تقبل الالكترونات.

عند تكون الوصلة الثنائية تنجذب بعض الالكترونات من المنطقة السالبة نحو منطقة الاتصال وتعبرها إلى المنطقة الموجبة ونتيجة لذلك تصبح ذرات المنطقة السالبة (أيونات موجبة) وذرات المنطقة الموجبة (أيونات سالبة) ويستمر ذلك حتى يصبح فرق الجهد بين المنطقة السالبة والمنطقة الموجبة قيمة معينة، عندما يتم انتقال مزيدا من الالكترونات من

المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة. هذا الجهد يعرف "بجهد الحاجز" وهو فرق الجهد بين المنطقة السالبة والمنطقة الموجبة للوصلة الثنائية والذي يقف عنده انتقال مزيد من الالكترونات من المنطقة السالبة إلى المنطقة الموجبة، تتصف الوصلة الثنائية بقابليتها على مرور التيار في اتجاه واحد كما فى شكل (١٣) .




شكل (١٣) وصلة ثنائية

**مادة السيليكون و الخلايا السيليكونية**

تعد مادة السيليكون أحد أهم أشباه الموصلات (semiconductors ) المستخدمة فى تصنيع الخلايا الشمسية و التى تصنف بأنها بسيطة التركيب و أصبحت من المواد المدروسة بشكل جيد ففى عام ١٩٥٤ تم صناعة أول خلية شمسية سيليكونية فى معهد " بل لابس" (Bell labs ) فى الولايات المتحدة الأمريكية بكفاءه حوالى ٦% .

و من المعلوم أن مادة السيليكون كمادة نقية لا توجد فى الطبيعة فى حالة منفرده بل فى صورة متحدة و هى من أكثر العناصر إنتشاراً على سطح الأرض ، و هى موجودة فى الطبقات الخارجية للأرض و توجد فى الطبيعة فى صورة أكسيد السيليكا.

عموماً يعرف السيليكون " بالرمال البيضاء" و التى تزخر صحراء مصر بثروات كثيرة جداً و هى تعد الأجود فى العالم منذ ملايين السنين ، فمصر من أفضل أماكن الرمال

البيضاء فى العالم ، و تملك مصر حوالى ٣٠ منجماً ضخماً تحوى ملايين الأطنان من هذه الرمال.

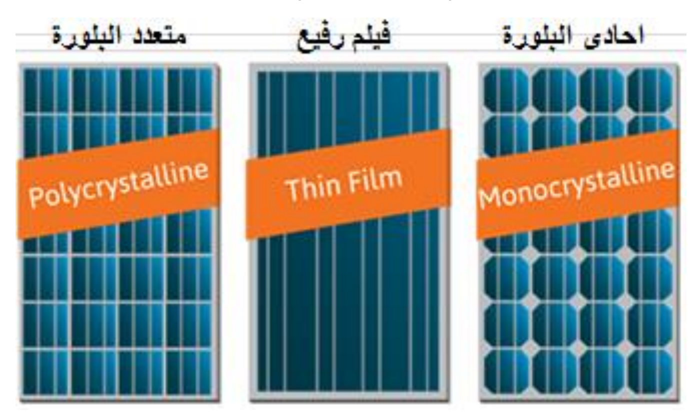
أغلب إحتياطى الرمال البيضاء يوجد فى سيناء بواقع ١٣ موقعاً ، و فى الصحراء الشرقية ٢٠ موقعاً ، و فى الوادى الجديد ، كما توجد هذه الرمال على إمتداد خليج السويس بأبى الدرج و الزعفرانة ، و على إمتداد ساحل البحر الأحمر و شبه جزيرة سيناء ، و توجد أنواع جيدة من هذه الرمال فى جبال شمال و وسط سيناء مثل جبل المنشرح و الحلال و يلق المغارة بدرجة نقاوة تصل إلى ٩٩,٨ % سيليكا ( الأهرام – ٢٠١٣/١٠/١٨)

من أسباب إختيار السيليكون فى تصنيع الخلايا الشمسية :

- عالى التوصيل الحرارى.
- الثبات الجيد مع حالة الطقس المحيط.
- مادة عازلة جيدة للكهرباء.
- مادة عالية القدرة

يوجد ثلاثة أنواع من الخلايا السيليكون والموضحة فى شكل (١٤) والتى تستخدم فى إنتاج الخلايا الشمسية :

١. سيليكون غير متبلور ( أو فيلم رفيع ) ( بنى اللون ).
٢. سيليكون أحادى البلورة ( أزرق داكن أو أسود أو رمادى صلب ).
٣. سيليكون متعدد البلورة ( أزرق اللون ).

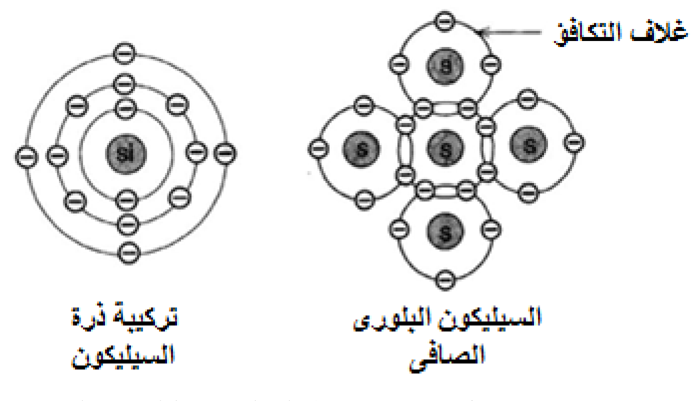



شكل (١٤) انواع الخلايا السيليكون

و الخلايا الشمسية التى تتكون من السيليكون المتبلور تثبت بين الزجاج أو شرائح الإكريلك التى تكون شفافه أو غير شفافه سواء من الأمام فقط أو من الأمام و الخلف.

## **مكونات الخلية الشمسية**

ذرة السيليكون البللورى تحتوى على ١٤ إلكترون مرتبة فى ثلاثة طبقات مختلفة وأول طبقتين و هما الأقرب إلى المركز ممتلئتين تماما ، و أن الطبقة الخارجية فقط هى الطبقة النصف ممتلئة بها ٤ إلكترونات ، تقوم ذرة السيليكون بالبحث عن إلكترونات لتملأ طبقتها الأخيرة ( و التى تكون ٨ إلكترونات ) و ليتم ذلك تشترك بأربعة إلكترونات مع ذرة السيليكون التى تقع بالقرب منها ، و هذا وصف السيليكون البللورى الصافى . و الذى يوصف أيضاً بأن جميع الإلكترونات محبوسة فى التركيب البلوررى و لذا يوصف بأنه موصل ضعيف للكهرباء نظراً لعدم وجود و لا الكترون واحد حر الحركة.يوضح شكل (١٥) تركيبة السيليكون البلورى الصافى .

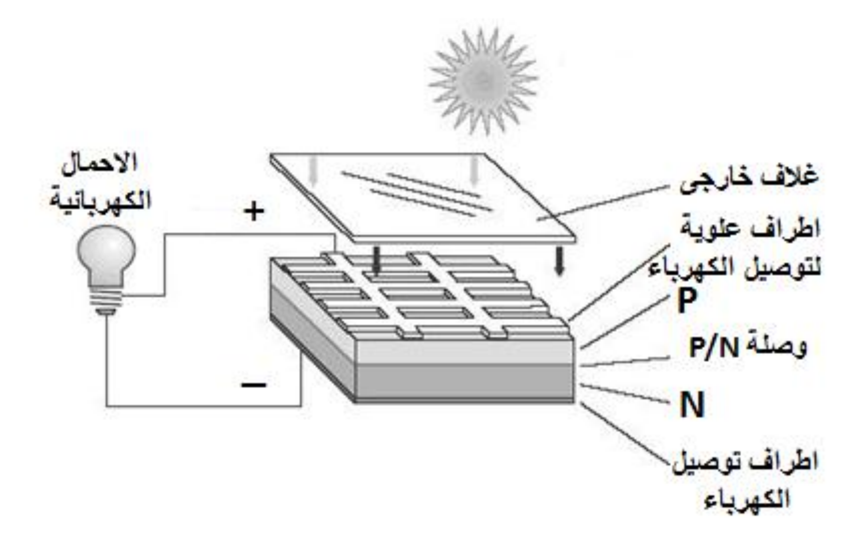



شكل (١٥) تركيبة السيليكون البلورى الصافى

## **السيليكون فى الخلايا الشمسية ( Solar cells)**

لتوليد الشحنة الموجبة يتم إدخال ذرات البورون ( *البورون (Boron) : عنصر لا فلزى رمزه (B) ، يستخدم فى صناعتى الزجاج و السيراميك و عاملاً مساعداً*

*، و فى الميتالورجيا و فى إنتاج أشباه الموصلات.)* و التى تمتلك ٣ إلكترونات تكافؤية فى تركيب السيليكون الصافى . ترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون و يتشكل ثقب أو فراغ ( hole ) إيجابى الشحنة بدلا من الإلكترون الرابع المفقود.
و تسمى السيليكون مع شوائب البورون موصلاً إيجابياً أو من النوع (P).
لتوليد الشحنة السالبة يتم إدخال ذرات الفورسفور*( الفسفور (Phosphorous) عنصر لا فلزى رمزه (P) ، عدده الذرى ١٥ ، يوجد فى عدة أشكال يستخدم فى صناعة الصواريخ و حمض الفوسفوريك و فى إنتاج أشباه الموصلات)* التى تمتلك ٥ إلكترونات تكافؤية فى تركيب السيليكون الصافى ، و ترتبط هذه الذرات مع ذرات السيليكون و يتشكل إلكترون سلبى الشحنة ، تسمى مادة السيليكون مع شوائب الفوسفور موصلا سلبيا أو من النوع (n).
و عليه تصنع الخلايا الشمسية بوضع طبقة من النوع (n) و طبقة من النوع (p) معاً ، بهذا نحصل على المخرج الموجب و المخرج السالب للخلية الشمسية.
يوضح شكل (١٦) مكونات الخلية الشمسية .




شكل (١٦) مكونات الخلية الشمسية

## صناعة الخلايا الشمسية :

توجد في الطبيعة مواد كثيرة تستخدم فى صناعة الخلايا الكهروشمسية والتي تجمع بنظام كهربي وهندسي محدد لتكوين ما يعرف بالخلية الشمسية والتى بدورها تتجه إلي واجهه معينة وتعرض لأشعة الشمس بزاوية معينة لينتج أكبر قدر من الكهرباء . وتتكون الخلية الفوتو فلتية من طبقة رفيعة من مادة السيليكون ، هذه المادة هي إحدي مواد أشباه الموصلات (semiconductor) . من المعروف أن السيليكون كمادة نقية لا يوجد في الطبيعة علي حالة منفردة ، بل في صورة متحدة ، وهو من أكثر العناصر انتشارا علي سطح الأرض بعد الأوكسجين ، وهو موجود في الطبقات الخارجية للأرض ويوجد في الطبيعة في صورة أكسيد السليكا .

الرمل هو المادة الأولية الموجودة بكثرة وبثمن بخس ، باستعمال ١ كجم من المادة الخام لا نحصل إلا علي ٥٠ جرام من اللوحات الفوتوفلتية .

لقد تم تطور تقنيات صناعة الخلايا الشمسية خلال عمليات متسلسلة من المعالجات الكيميائية والفيزيائية والكهربائية علي شكل متكاثف ذات الآلية أو عالي التقنية ، كما تم تطوير مواد مختلفة من أشباه الموصلات لتصنيع الخلايا الشمسية علي هيئة عناصر كعنصر السيليكون أو علي هيئة مركبات كمركب الجاليوم زرنيخ ، وكربيد الكادميوم ، وفوسفيد الأنديوم ، وكبريتيد النحاس وغيرها من المواد المستخدمة في صناعة الخلايا الشمسية ، فيما يلى مراحل تصنيعها :

١. يتم اعداد السيليكون المعدني باختزال خليط من الرمل والفحم في فرن كهربي طبقا للمعادلات الكيميائية الاتية :

$$Si\,O_2 + 2C \longrightarrow Si + 2CO$$

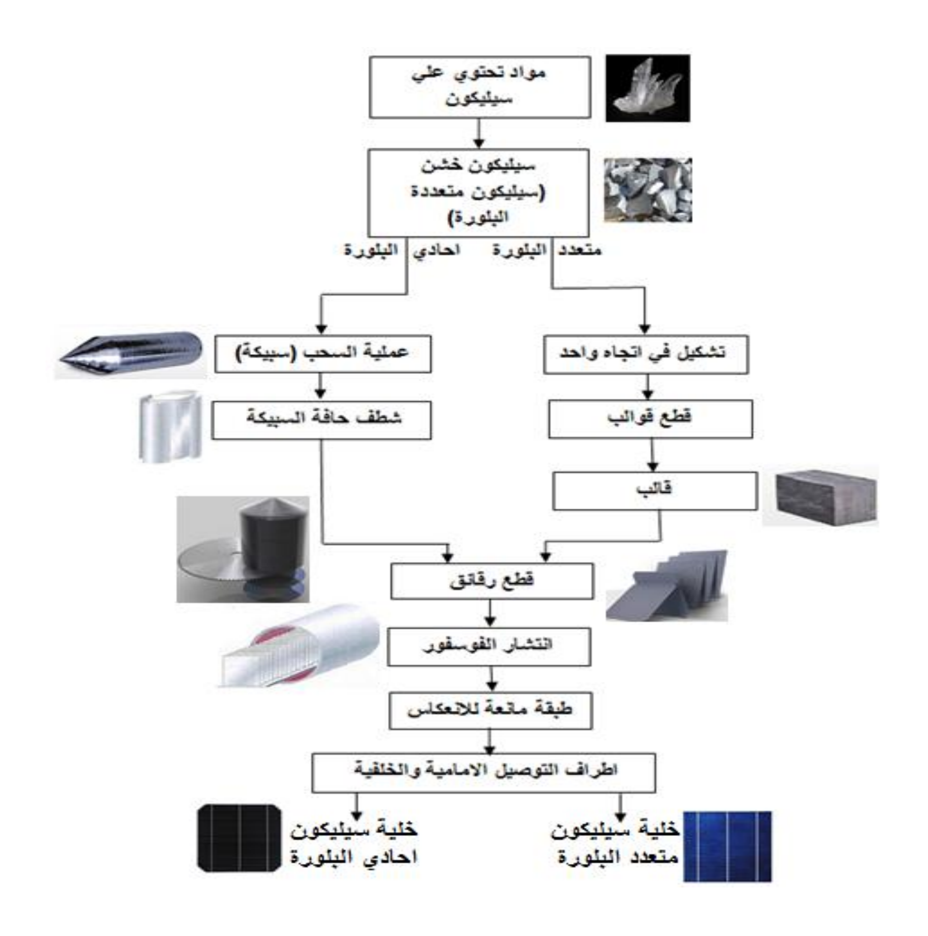
$$Si\,O_2 + 3C \longrightarrow Si\,C + 2CO$$

$$Si\,O_2 + 2Si\,C \longrightarrow 3\,Si + 2CO$$

تكون النتيجة الحصول على السيليكون احادى البلورة (mono crystalline ) بنسبة نقاوة لا تتعدى ٩٨ % ، ولزيادة النقاوة يستعمل ثالث كلور السيلان للتفاعل مع كلور الهيدروجين فى درجة حرارة ٢٥٠ درجة مئوية .

٢. للحصول علي السيليكون متعدد البلورة (poly or multi crystalline) يتم اختزال المرحلة السابقة ، بالهيدروجين في حوالي ١٠٠٠ درجة مئوية – وهذا السيليكون يكون اكثر نقاوة .
٣. يتم قطع السبيكة إلي أقراص . ثم الصقل الميكانيكي للقرص .
٤. ينظف الوجه الأمامي للقرص كيميائيا ، وذلك لازالة الشوائب عن الوجهه الأمامية للقرص .
٥. اعادة تعديل وضع الخلايا
٦. ينظف الوجه الخلفي للخلية
٧. وضع ملامس علي طرفي الخلية لتوصيل الخلية بالدائرة الكهربائية
٨. وضع طبقة ضد (مانعة) الانعكاس ، حيث ان تعرض اللوحات الشمسية لانعكاس الاضاءة يؤدي إلي مفقودات تصل إلي ٤٥ % لذا يتم وضع طبقة ضد الانعكاس فتنخفض المفقودات إلي ١٠ %
٩. لحام اسلاك التوصيل والتي فيها يتم التعامل مباشرة مع الخلية ، ويجب مراعاة الطريقة السليمة والدقيقة والفنية للحام الاسلاك ، لأن اللحام الخاطئ يسبب نشوء مقاومة علي الموصلات أو تلفها .

يوضح شكل (١٧) مراحل تصنيع الخلايا الشمسية




شكل (١٧) مراحل تصنيع الخلايا الشمسية

## أنواع الخلايا الشمسية ( solar cell types )

تنقسم تكنولوجيات الخلايا الشمسية إلي الأنواع الآتية :

١. خلايا السليكون البلوري (crystalline silicon cells)

يكون الموديول عبارة عن شرايح بسمك 200 microns ملحومة معا

٢. خلايا الفيلم الرفيع أو الرقيق (Thin-film cells)

عبارة عن طبقات من الخلايا بسمك عدة ميكرون والتي عادة ترسب علي الواجهة الزجاجية للموديول

٣. خلايا نانو هيكلي ( Nanostructured cells)

عبارة عن خلايا شمسية كاملة بمقاس النانومتر ثم توصل لتكوين الموديول .

**أجيال الخلايا الشمسية**

**الجيل الأول :**

- يتم تصنيع الخلايا الفوتوفلطية من مواد أشباه الموصلات، التى تعد مادة السيليكون الأكثر شيوعا واستخداما نظرا لتوافر مصادرها في جميع انحاء العالم. كانت الخلايا كبيرة وغير مرنة وبتكلفة تصنيع عالية. ونتيجة أن رقائق السيليكون منخفضة الامتصاص والاستيعاب للأشعة الشمسية، فقد أدى ذلك إلى زيادة سمكها عن ١٢٥ الى ٢٥٠ ميكرومتر، وهي تمثل سمك كبير جدا مقارنة بالرقائق المصنعة من أشباه الموصلات الأخرى مثل زرنيخ الجاليوم (Gallium Arsenide) والتي يكون سمكها حوالى واحد ميكرومتر.

ولذا كانت تكلفة انتاج الكهرباء من منتجات خلايا الجيل الأول مرتفعة جدا، والتي وصلت إلي ٥ دولارات أمريكية لكل وات.

عموما مازالت الخلايا الشمسية السيليكونية هي الغالبة تجاريا (حوالي ٨٥%) لما تتصف به من الكفاءة العالية.

**الجيل الثاني:**

- خلايا شمسية من الأفلام الرقيقة (Thin-Film Photovoltaic (TFPV)) والتي تعتمد في انتاجها على عدة أساليب متقدمة منها طريقة ترسيب الأبخرة الكيميائي (Chemical Vapor Deposition (CVD)) والتى تتلخص في تصنيع أغشية رقيقة من مواد أشباه الموصلات المترسبة على قواعد زجاجية أو بلاستيكية (هذه القواعد يتم عليها ترسيب الأغشية رقيقة السمك من أشباه الموصلات لتكوين وحدة الخلية الفوتوفلتية).

- تمتاز هذه الخلايا بأنها ذات سمك رفيع لايزيد عن واحد ميكرومتر أى أن سمكها يقل عن سمك رقائق مادة السيلكون المستخدمة في الجيل الأول من الخلايا بنحو يتراوح ١٠٠-١٠٠٠ مرة.

نتيجة ذلك أصبحت الخلايا خفيفة الوزن ومرنة مما ميزها للاستخدام كمصدر للطاقة بالأجهزة المحمولة مثل الهواتف والحواسب المحمولة ولكن مازالت كفاءتها منخفضة وفي حدود ١٠%، سبب انخفاض الكفاءة يرجع الى أن سمك خلايا الجيل الثاني رفيعة جدا وبالتالى لاتمتص نفس الكمية من طيف الأشعة الشمسية التى تقوم بامتصاصها الشرائح السميكة من السيليكون (المنتجة بالجيل الأول).

- من أمثلة خلايا الجيل الثاني : السيليكون اللابلوري (amorphous Si) ، سيليكون نانو بللوري(Nano crystalline Si) ، تليريد الكادميوم (Cadmium telluride) .

**الجيل الثالث:**

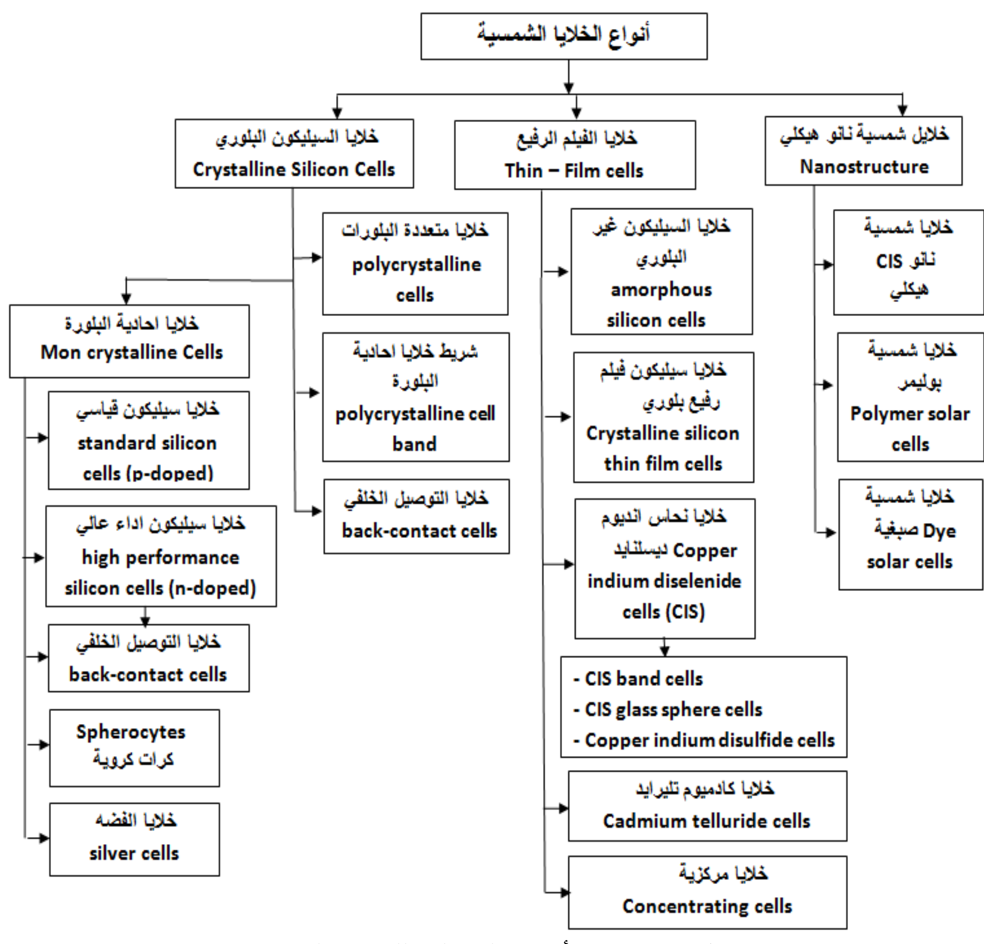
- وهو مايعرف بجيل "تكنولوجيا النانو".
- مازالت منتجات هذا الجيل في مرحلة البحث والتقييم والتطوير على المستوى التجريبي والمعملي، ويتوقع أن يكون لها مدى ابداع واسع.
- وتعد الخلايا الشمسية الصبغية (Dye sensitized Solar Cells (DSC)) أحد أهم أنواع االجيل الثالث من الخلايا الفوتوفلتية لانفرادها بعدة مزايا تقنية واقتصادية. ومن الخلايا الأخرى: خلايا شمسية بوليمرية (Polymer Solar Cells) وخلايا نانو بللوري (Nano crystalline Cells) .

تكون خلايا السيليكون البللوري هي الأكثر شيوعا في الأسواق والتي تمثل نسبة ٩٠%

من فوائد استخدام السيليكون فى الخلايا الشمسية أنه أمكن تقليل الكمية المستخدمة في انتاجها كالآتي :

- فى عام ٢٠٠٤ كان : 13 gr/w
- في عام ٢٠٠٨ اصبح : 6.3 gr/w
- مخطط الوصول إلي : 5.0 gr/w

يوضح شكل ( ١٨ ) الأنواع المختلفة للخلايا الشمسية



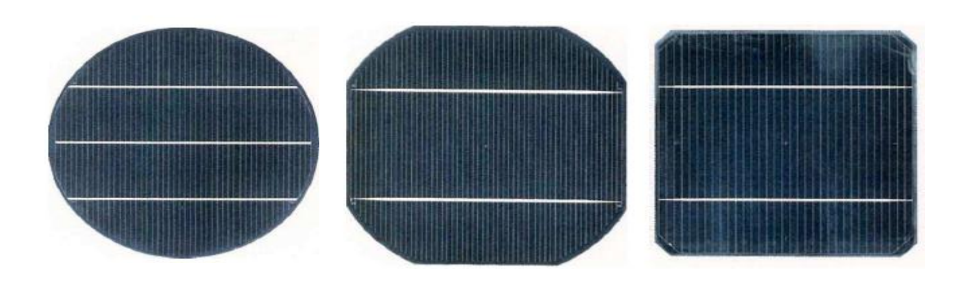

شكل ( ١٨ ) الأنواع المختلفة للخلايا الشمسية

## <u>خلايا السيليكون أحادى البلورة</u> Mono crystalline (single-crystal )silicon cells

**الكفاءة : تتراوح بين ١٥% الي ١٨،٨%**

**الشكل :** يعتمد علي كيفية الحصول علي الشرائح (slices) ، حيث يمكن تشكيلها علي صورة خلايا مستديرة (round) ، شبه مربع (semi-square) أو مربع (square).

يوضح شكل (١٩) الاشكال الثلاثة لخلايا السيليكون أحادي البلورة . تكون الخلايا المستديرة ارخص من المربع أوشبه المربع لان المادة المهدرة تكون اقل .



شكل (١٩) الأشكال الثلاثة لخلايا السيليكون أحادي البلورة

المقاس : المتاح كالآتي بالنسبة لنوعين شبه مربع والمربع :

10*10cm, 12.5*12.5 cm, 15*15 cm

ويكون قطر النوع المستدير : 15mm أو 12.5mm

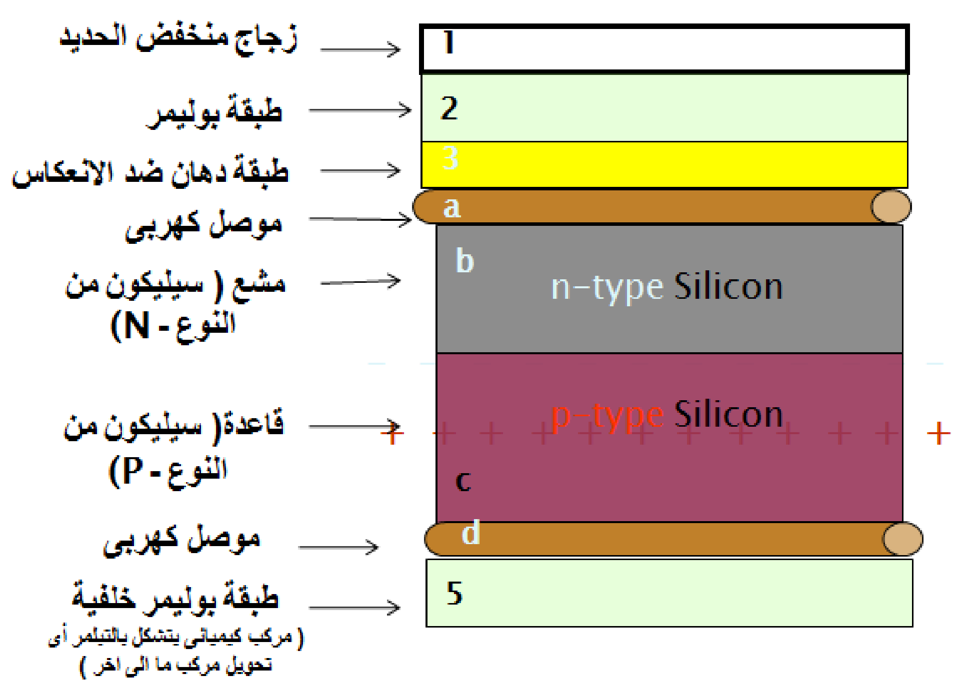
السمك : من 0.14mm إلي 0.3 mm

المظهر : متناسق

اللون : - أزرق غامق أو اسود (في حالة وجود طبقة مانع الانعكاس (anti-reflective)

- رمادي (في حالة عدم وجود طبقة مانع الانعكاس )

يوضح شكل (٢٠) مكونات خلايا السيليكون احادي البلورة




شكل (٢٠) مكونات خلايا السيليكون احادي البلورة

**<u>خلايا السيليكون متعددة البلورة</u> polycrystalline silicon cells**

الكفاءة : تتراوح بين ١٣ % إلي ١٧،١ %

الشكل : مربع (quadratic)

المقاس : المتاح كالاتي :

10*10 cm, 12.5*12.5 cm, 15*15 cm, 15.6*15.6cm, 21*21 cm.

السمك : من 0.16 mm إلي 0.24 mm

المظهر : بلورات مختلفة الاتجاهات ، البلورات الفردية تكون واضحة علي سطح الخلية .

اللون : أزرق (في حالة وجود طبقة مانع الانعكاس)

رمادي فضي (في حالة عدم وجود طبقة مانع الانعكاس )

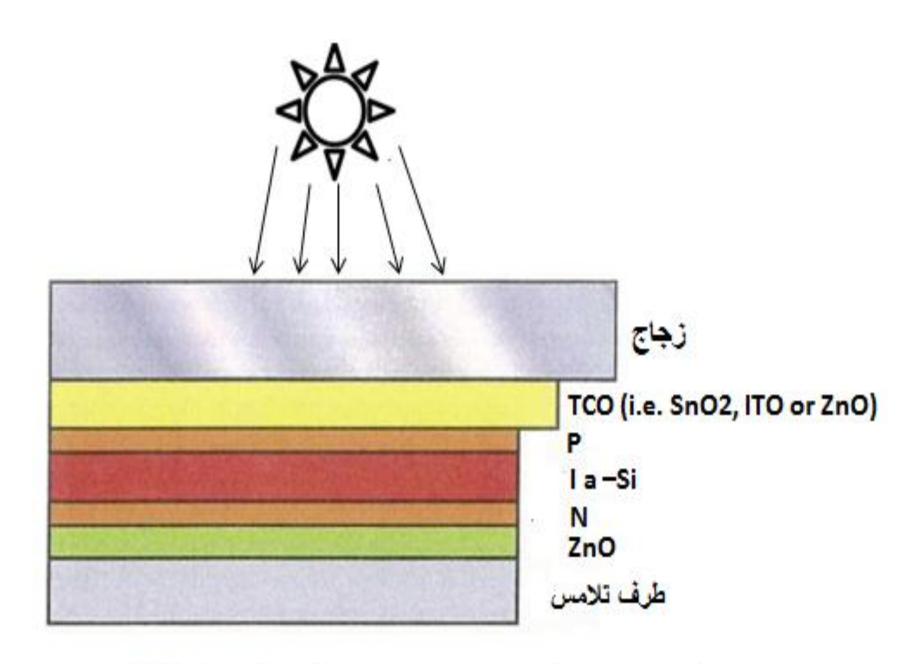
## خلايا السليكون غير البلوري Amorphous silicon cells (A.Si)

مادة هذه الخلايا ذات شكل سيليكوني غير بلوري لوجود عنصر الهيدروجين أو بعض العناصر الأخري . تكون ذرات السيليكون فيها أقل ترتيبا من النوع البلوري . ففي السيليكون غير البلوري لا ترتبط كل ذرة ارتباطا كاملا مع الذرات المجاورة ، إنما تترك ما يسمي بالرباط المتدلي ، وتستطيع أن تمتص إلكترونات إضافية عند إجراء عملية الطلاء.

يوضح شكل (٢١) مقطع في خلية السيليكون غير البلوري

بعض خصائص السيليكون غير البلوري :

- كفاءة الموديول : ٥% إلي ٧%
- المقاس : الموديول النموذجي حوالي 2.2 m * 2.6 m
- السمك : 1.9 mm إلي 3.0 mm ، بدون زجاج قاسي ، بطلاء حوالي 0.001 mm ( اي 1µm) ، وحوالي 0.3 mm سيليكون غير بلوري
- المظهر : متجانس
- الألوان : بني محمر مائل للزرقة ، أزرق – بنفسجي




شكل (٢١) مقطع في خلية السيليكون غير البلوري

## خلايا نحاس انديوم سلينايد ثنائي (CIS) Copper indium diselenide cells

هي مواد من أشباه الموصلات مركبة من النحاس والأنديوم والسلينايد (CIS) وحاليا الموديولات (CIS) هي الأعلي كفاءة من جميع تكنولوجيات موديولات الفيلم الرفيع (thin film)

يوضح شكل ( ٢٢ ) مكونات خلايا نحاس أنديوم سلينايد ثنائي .

من خصائص هذه الخلايا :

الكفاءة : تتراوح بين ٧% إلي ١٢,٢%

المقاس : 0.6 m * 1.2 m

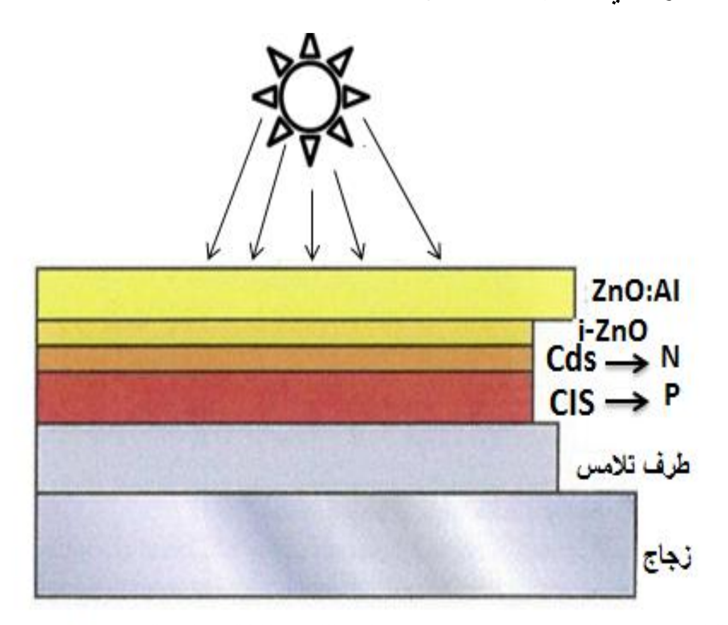
السمك : من 2mm إلي 4mm (المادة الأساسية عبارة عن فيلم معدني أو زجاج غير صلب )

+ من 3μm إلي 4μm طلاء

+ من 1μm إلي 2μm نحاس أنديوم سلينايد ثنائي (CIS)

المظهر : متناسق

اللون : رمادي غامق مائل للسواد




ZnO:Al : اكسيد الزنك والومنيوم معالج Aluminum – doped zinc oxide

Cds : كبريتات كادميوم Cadmium sulphide

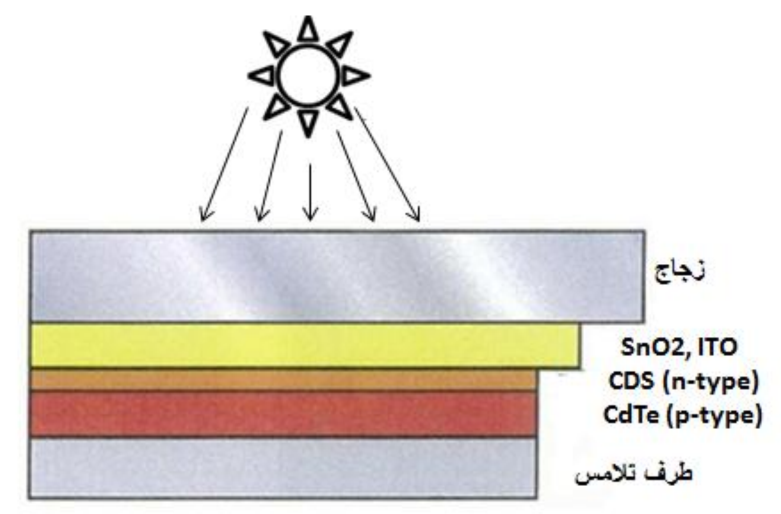
CIS : نحاس انديوم سلينايد ثنائى Copper indium diselenide

i-ZnO : اكسيد الزنك جوهرى intrinsic zinc oxide

شكل ( ٢٢ ) مكونات خلايا نحاس انديوم سلينايد ثنائي

## خلايا الكادميوم تليرايد Cadmium telluride cells(CdTe)

هي مواد من اشباه الموصلات مركبة من الكادميوم والتليرايد ، تمتاز بسهولة ورخص تصنيعها من الطلاء الكهربائي بالاضافة إلي عدم انخفاض كفاءتها عند الاستخدام .
لكن من عيوبها ان الكادميوم مادة سامة جدا .
يوضح شكل ( ٢٣ ) مكونات خلايا الكادميوم تليرايد
من خصائص هذه الخلايا :
الكفاءة : تتراوح بين ٧% إلي ١١%
السمك : 3mm ( المادة الاساسية : زجاج غير صلب ) + 0.005 mm طلاء
المقاس : 0.6 m * 1.2 m
المظهر : متناسق
اللون : اخضر غامق مائل للسواد

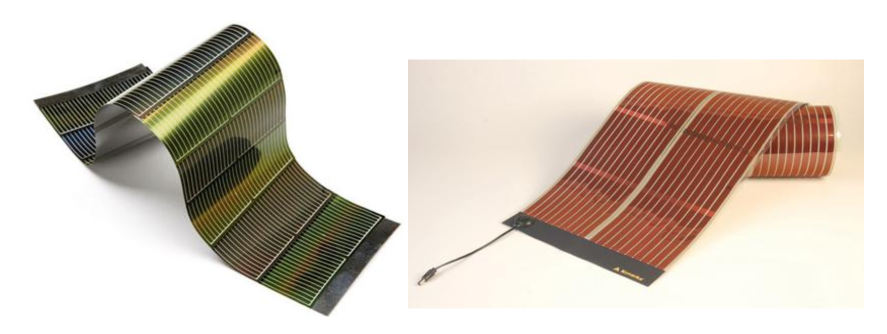



| | | | |
|---|---|---|---|
| ITO | : | اكسيد قصدير انديوم | indium tin oxide |
| CdTe | : | كادميوم تليرايد | cadmium telluride |
| CDS | : | كبريتات كادميوم | cadmium sulphide |
| SnO2 | : | ثاني اكسيد القصدير | tin dioxide |

شكل ( ٢٣ ) مكونات خلايا الكادميوم تليرايد

## خلايا شمسية عضوية ( Organic Solar Cell)

هى خلايا شمسية جديدة قابلة لإعادة التدوير ، مصنوعة من الأشجار أو أكثر تحديداً ، فقد تم تصنيعها من الركيزة الأساسية التى يمكن أن يحصل عليها من أى نبات آخر . قام بذلك فريق فى معهد جورجيا للتكنولوجيا ، بالتعاون مع باحثين من جامعة بوردو الأمريكية .
تصنع هذه الخلايا الشمسية من البوليمر المعتمد على ركائز السليلوز الثانوية ، لإنشاء خلايا شمسية أكثر إستدامة ، و يمكن اعادة تدويرها بسرعة فى المياه فى درجة حرارة الغرفة. و تمتاز بأنها منخفضة التكاليف ، تعطى خلايا قابلة للتشكيل و بألوان مختلفة و ذات وزن خفيف. يوضح شكل ( ٢٤) خلايا شمسية عضوية



شكل ( ٢٤) خلايا شمسية عضوية

## الخلايا الشمسية الصبغية (Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs)

و تسمى أيضاً باسم مخترعها Grazel cells ، هى مصنوعة من مواد منخفضة التكلفة و سهلة التصنيع . هذه الخلايا يتم غمس حبيبات نانونية شفافة ( غير معتمة ) عالية المسامية من ثانى أكسيد التيتانيوم بمركب مادة عضوية . غالبا ما تكون لمركب عضوى من مركبات عنصر الروثنيوم (Ruthenium) فتترسب جزيئات الطلاء العضوى على الأسطح الخارجية لحبيبات أكسيد التيتانيوم التى تغمر داخل محلول الكتروليتى يوضع بالخلية.
يوضح شكل ( ٢٥) خلايا شمسية صبغية



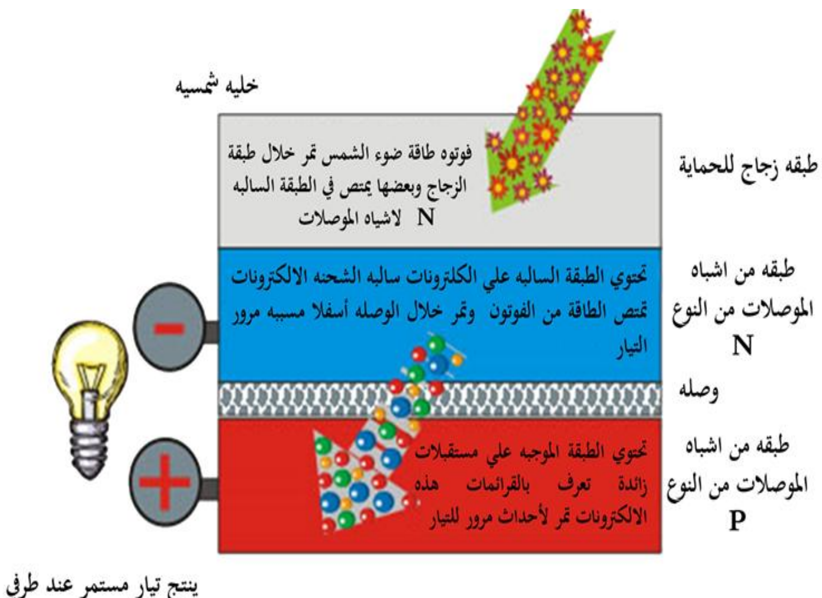
شكل ( ٢٥) خلايا شمسية صبغية

**طريقة عمل الخلية الشمسية**

عند تعرض الخلية للإشعاع الشمسى فإن الألكترونات الحرة تمتص " طاقة الفوتونات المكونة للإشعاع الشمسى ، أى أن الطاقة المنبعثة من الشمس تصطدم بسطح الخلية فى شكل فوتون (الفوتون عبارة عن طاقة فى صورة ضوء وإشعاع كهرومغناطيسى وليس لها شحنة ولا كتلة ) و إذا كانت طاقة الفوتون كافية فإنها تعمل على تحفيز الإلكترونات فى الخلية الشمسية مما يولد جهدا كافيا لدفع هذه الإلكترونات فى دوائر الحمل ، أى أن عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية و يمتص منه جزء بواسطة الطبقة الأولى للخلية و هى طبقة السيليكون و المحتوية على الفوسفور ( أى النوع N ) أما غالبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بإمتصاصه الجزء الخاص بذلك أى طبقة السيليكون المحتوية على البورون ( أى النوع P ).

خلال هذه العملية تتكون إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل المتصل فى أطراف الخلية ، بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية تزداد حركة الإلكترونات ، و بالتالى يتشكل تيار كهربى مستمر (DC) . و عند توصيل حمل كهربى بين طرفى الخلية الشمسية يتم الإستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من سقوط ضوء الشمس على الخلية.

يوضح شكل (٢٦) فكرة عمل الخلية الشمسية ( الفوتوفلتية )

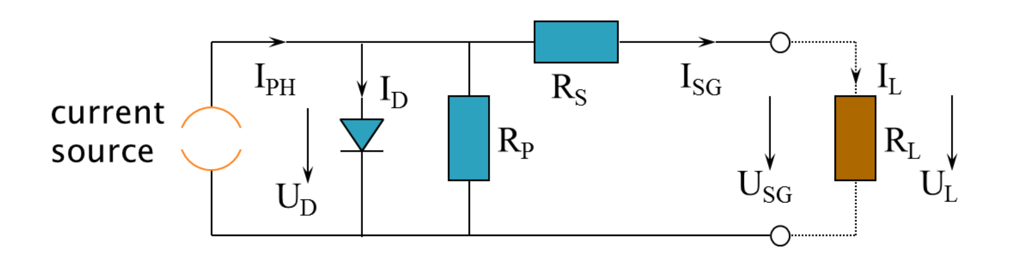



شكل (٢٦) فكرة عمل الخلية الشمسية ( الفوتوفلتية )

## الدائرة المكافئة للخلية الشمسية
## (Equivalent circuit of a solar cell)

لفهم العمل الكهربى للخلية الشمسية ، فيجب معرفة الدائرة الكهربائية المكافئة لها على أساس مكونات كهربائية لها أداء معروف جيداً . يمكن تمثيل الخلية الشمسية النموذجية بمصدر تيار (current source) متصل على التوازى مع ديود (diode) ، و لكن عملياً لا يمكن أن يتحقق ذلك لذا تكون الدائرة المكافئة محتويه على مصدر تيار على التوازى مع ديود بالإضافة إلى مقاومة على التوالى و أخرى على التوازى.

يوضح شكل (٢٧ ) الدائرة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية




شكل (٢٧ ) الدائرة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية

حيث :

التيار الضوئى الناتج من الخلية الشمسية — **$I_{PH}$**: photocurrent of the solar-cell

تيار وجهد الديود الداخلى — **$I_D$ /$U_D$**: current and voltage of the internal p-n diode

مقاومة توازى نتيجة عدم تجانس السطح والتيار المفقود عند حواف الخلية الشمسية — $R_P$: shunt resistor due to inhomogeneity of the surface and loss - current at the solar-cell edges

مقاومة توالى نتيجة مقاومة السيليكون واتصال المادة — $R_S$: serial resistor due to resistance of the silicon-bulk and contact material

تيار وجهد الخلية الشمسية — $I_{SG}$/$U_{SG}$: Solar-cell current and voltage

جهد وتيار ومقاومة الحمل — $R_L$/$I_L$/$U_L$: Load-Resistance, current and voltage $I_{SG}= I_L$, $U_{SG} = U_L$

## تيار الدائرة المغلقة ( تيار دائرة القصر ) Short –current

## ( $I_{SC}$, $I_0$ or $I_K$)

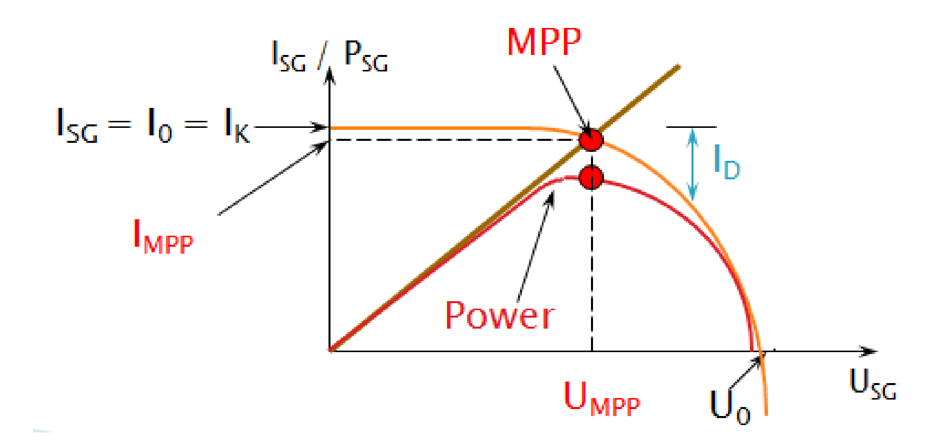
- هو التيار المار فى الخلية الشمسية إلى دائرة خارجية بدون حمل ( أو بدون مقاومة ) ، هو أقصى تيار تستطيع خلية شمسية انتاجة من الاشعاع الشمسى
- غالبا يتناسب مع الاشعاع الشمسى
- يزيد بمعدل ٠,٠٧ % لكل درجة كلفن

## فرق جهد الدائرة المفتوحة Open-voltage

## ($U_0$, $U_{OC}$ or $V_{OC}$)

- هو الفولت الذى تعطية الخلية الشمسية عندما لا يمر تيار فى الدائرة ، وهو أقصى فولت تعطية خلية شمسية وهو الجهد خلال الديود الداخلى
- يزيد بسرعة مع بداية الاشعاع الشمسى
- للسيليكون ، نموذجيا يتراوح فرق الجهد بين ٠,٥ فولت و ٠,٩ فولت
- ينخفض بمعدل ٠,٤ % لكل درجة كلفن

يوضح شكل (٢٨) خاصية الخلية الشمسية يظهر على المنحنى نقطة القدرة العظمى (MPP) ( Maximum Power Point) وهى نقطة غاية فى الأهمية إذ يسعى مصمم أنظمة الخلايا الشمسية لتشغيل النظام عند هذه النقطة أو اقرب ما يكون منها للوصول ألى أعلى كفاءة .




شكل (٢٨) خاصية الخلية الشمسية

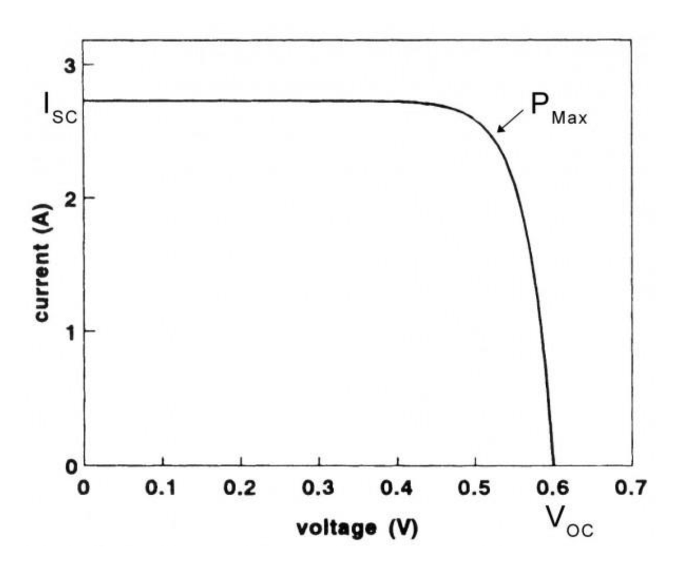
تكون الطاقة الكهربائية المنتجة من سقوط الاشعاع الشمسى على الخلية الفوتوفلتية فى صورة تيار مستمر (DC) وتعتمد شدة التيار على متغيرين : الأول هو الأشعة الشمسية الساقطة ، والثاني هو التيار والفولت المطلوب للحمل.

وتعرف الخلية الشمسية ذات المساحة ١٠٠ سم٢ ، كما فى شكل (٢٩) ، بأنها بطارية شمسية تقوم بأنتاج جهد مقدارة ٠،٥ فولت وتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسى يصل مقدارة بين ٢،٥ امبير و ٣ امبير فى حالة التعرض لأقصى أشعاع شمسى .



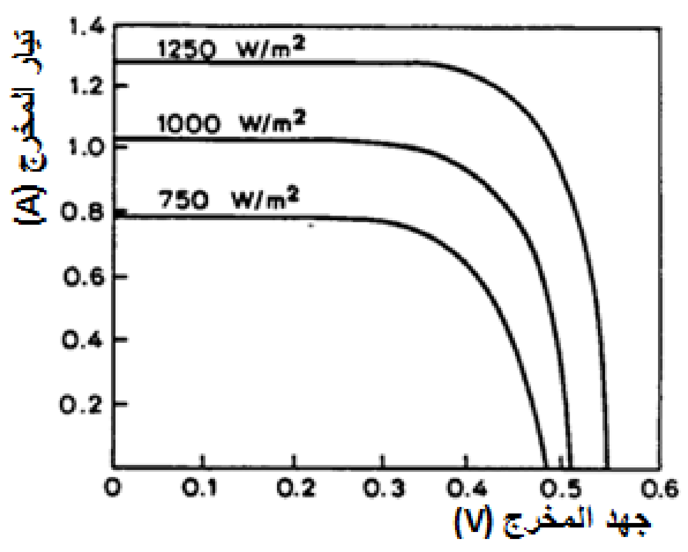

شكل (٢٩) خلية شمسية ١٠٠ سم ٢

توصف الخلية الفوتوفلتية بفرق جهد دائرتها المفتوحة وتيار دائرتها المغلقة ، يوضح شكل (٣٠) العلاقة بين الجهد والتيار للخلية الفوتوفلتية




شكل (٣٠) العلاقة بين الجهد والتيار للخلية الفوتوفلتية

فرق جهد الدائرة المفتوحة (Voc) هو قيمة الفولت الذى تعطية الخلية الفوتوفلتية عندما لا يمر أى تيار بالدائرة ، وهو أقصى فولت تعطية الخلية من الإشعاع الشمسى . أما تيار الدائرة المغلقة (أو تيار دائرة القصر ) (Isc) فهو التيار المار فى الخلية الفوتوفلتية بدون حمل أو مقاومة . وهو أقصى تيار تستطيع الخلية الفوتوفلتية إنتاجة من الإشعاع الشمسى . أن فرق الجهد الناتج من الخلية الفوتوفلتية يظل ثابتا عند كل مستويات الإشعاع الشمسى الساقط لكن التيار الناتج يتغير بشكل مباشر تبعا لقيم الإشعاع الشمسى الساقط عند كل لحظة زمنية . يوضح شكل (٣١) تغير قيم الجهد والتيار تبعا لتغير الإشعاع الشمسى الساقط على الخلية ( عند قيم : $750\ W/m^2$ , $1000\ W/m^2$، $1250\ W/m^2$)
وعند درجة حرارة الخلية 25 C




شكل (٣١) تغير قيم الجهد والتيار تبعا لتغير الإشعاع الشمسى

## ذروة القدرة المقننة للخلية الشمسية
## Peak Nominal Power of a Cell (Wp)

تقاس القدرة المقننة للخلية (Wp) بوحدة "وات" عند شروط الإختبار القياسى ( (Standard Test Conditions (STC) وهى :
AM 1.5، Tc = 25 $^{O}$ C، 1000 W/m$^{2}$ و فيما يلى تعريف ذلك :

١- قيمة أقصى إشعاع شمسى متعامدا و لحظياً 1000 w/m$^{2}$ و يعرف أيضاً بالثابت الشمسى أو كثافة الإشعاع الشمسى .

من المعروف أن قيمة الإشعاع الشمس الساقط على المحيط الخارجى للأرض يبلغ 1357 w/m$^{2}$ و التى تنخفض بسبب طبقات الغلاف الجوى
و تنخفض أيضاً قيم أقصى إشعاع متعامد نتيجة وجود سحاب أو عدم تعامد الشمس.

٢- كثافة الهواء : (Air Mass (AM))
و يسمى أيضاً إشعاع الطيف الشمسى ( Solar Spectral irradiance )
كثافة الهواء تشير إلى كيفية إنتقال الضوء خلال الغلاف الجوى للأرض ، فمثلا :
- " واحد كثافة هواء" (AM1) تعنى سمك الغلاف الجوى للأرض.

- " صفر كثافة هواء " (AM0) تعنى الإشعاع الشمسى فى الفراغ ، الذى لا يتأثر بالغلاف الجوى ، و عندها تكون كثافة الإشعاع $1.360\ w/m^2$
- واحد و نصف كثافة هواء (AM1.5) التى عندها كثافة الإشعاع $1000W/m^2$

٣- درجة حرارة الخلية (cell temperature )
يتم الإختيار عند $Tc = 25^{O}C$

## تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الفوتوفولتية

## The effect of climatic factors on solar photovoltaic cells

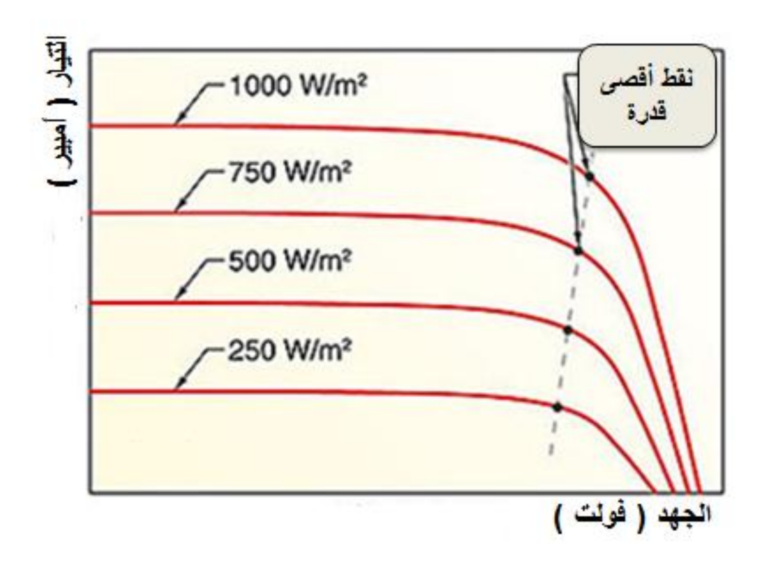
تمثل شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة المحيط وحركة الرياح المؤثرات المناخية الرئيسة على الخلية الشمسية. تؤثرهذه العوامل المناخية على مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية ( الجهد- التيار- ونقطة القدرة القصوى). كما تؤثر هذه العوامل على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية والتي بدورها تؤثر على مخرج الخلية الشمسية.

- **تأثير شدة الإشعاع الشمسي على مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية**

يعتمد مخرج الخلية الشمسية الفوتوفولتية المصنعة من السيليكون أحادي البلورة ومتعدد البلورات على شدة الإشعاع الشمسي الساقط والذي يقاس بالوات/م$^{٢}$. ويزداد تيار المخرج للخلية الشمسية كلما زادت شدة الإشعاع الشمسي.

أما جهد الدائرة المفتوحة للخلية الشمسية فإنه يرتفع إلى قرب أعلى قيمة له مع بداية ظهور الشمس أي عندما تكون شدة الإشعاع الشمسي أقل من ١٠٠ وات/م$^{٢}$ حيث يرتفع جهد المخرج للدائرة المفتوحة من ٠,٠ فولت الى ٠,٥ فولت .

وتزيد هذه القيمة لوغاريتميًا إلى قيمة تقارب ٠,٦ فولت عندما تكون شدة الإشعاع الشمسى يتراوح بين ١٠٠ و١٠٠٠ وات/م$^{٢}$ . أما تيار دائرة القصر فإنه يرتفع خطيًا مع شدة الإشعاع الشمسي وتعتمد قيمته على مساحة الخلية الشمسية. وتؤثر شدة الإشعاع الشمسي بشكل غير مباشر على جهد وتيار الخلية الشمسية كون ارتفاع قيمة شدة الإشعاع الشمسي يؤدي إلى ارتفاع حرارة الخلية الشمسية. ويبين شكل (٣٢) تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنى التشغيل لخلية شمسية عند ثبات درجة حرارة الخلية الشمسية.



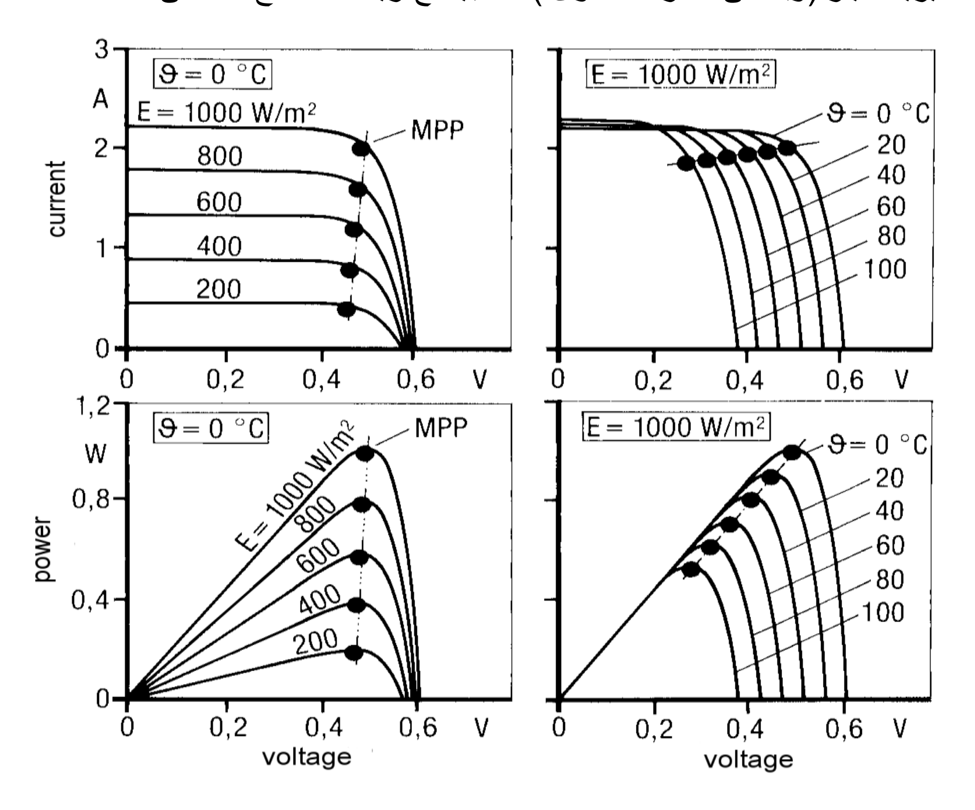

شكل ( ٣٢) تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنى التشغيل لخلية شمسية

- **تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على جهد وتيار الخلية الشمسية الفوتوفولتية**

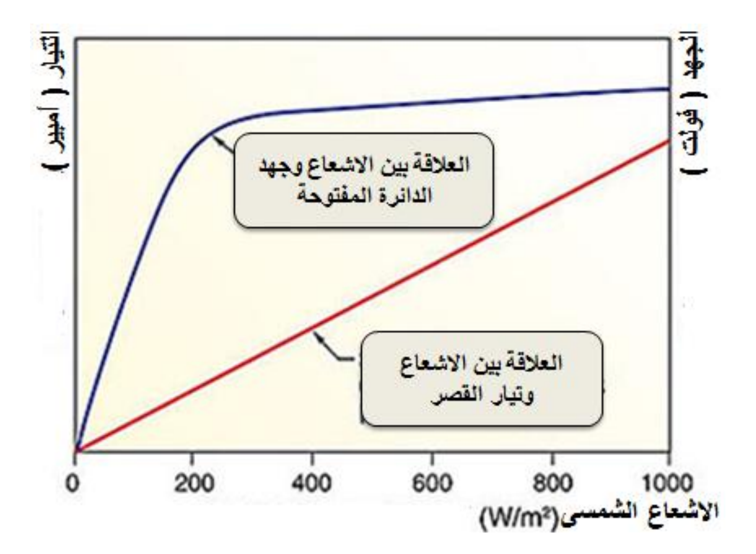
يؤدى ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية الشمسية والذى بدوره يؤدي إلى انخفاض جهد الدائرة المفتوحة وارتفاع تيار القصر للخلية الشمسية. وينخفض جهد الدائرة المفتوحة بمعدل $2.3\ mV/^0C$ عند ثبات شدة الإشعاع الشمسي .
كما يزيد تيار دائرة القصر عن قيمته عند درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية بنسبة 0.05% كلما ارتفعت درجة حرارة الخلية درجة مئوية واحدة ولصغر هذه النسبة يمكن إهمال تأثير الحرارة في حساب علاقة شدة الإشعاع الشمسي بتيار دائرة القصر ولاسيما عند تغير حرارة لوحة الفوتوفلتية في المدى الطبيعي من ( ٢٠-٦٠ ) درجة مئوية ويوضح شكل (٣٣) تأثيردرجة حرارة المحيط الخارجي على منحنيات التشغيل ( منحنى العلاقة بين التيار والجهد ومنحنى القدرة ) ، ويلاحظ من هذه المنحنيات الاتى :
- فرق الجهد المتولد من الخلية الشمسية يظل ثابتا تقريبا عند كل مستويات الاشعاع الشمسى الساقط
- التيار المتولد يتغير مباشرة تبعا لقيم الاشعاع الشمسى الساقط عند كل لحظة زمنية

بينما يوضح شكل (٣٤) العلاقة بين الاشعاع الشمسى وكل من الجهد والتيار للخلية الفوتوفلتية والذى يتضح منه الملاحظات الاتية :

- يزيد الجهد طرديا وبسرعة حتى ٢٠٠ وات / متر مربع ثم يكون ثابت تقريبا
- يزيد التيار (وبالتالى القدرة القصوى ) تناسبيا مع زيادة الاشعاع الشمسى




شكل (٣٣) تأثيردرجة حرارة المحيط الخارجي على منحنيات التشغيل للخلية الفوتوفلتية




شكل (٣٤) العلاقة بين الاشعاع الشمسى وكل من الجهد والتيار

- **تأثير الرياح على مخرج الخلية الشمسية**

لا تؤثرحركة الرياح بصورة مباشرة على مخرج الخلية الشمسية ولكن تؤثر على حرارة سطح الخلية الشمسية وبالتالي على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية. و لأن حركة الرياح تؤثر على تيارات الحمل فإنها تساعد على رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي بدوره يعمل على انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي و يخفض من الحرارة الداخلية للخلية وبالتالي يحسن من كفاءتها وادائها .

- **تأثير العوامل المختلفة على حرارة الخلية الشمسية الفوتوفولتية**

تؤثر العوامل المناخية المختلفة على حرارة الخلية الفوتوفولتية والتي بدورها تؤثر على القدرة القصوى لمخرج الخلية الفوتوفلتية ، هذه العوامل هى :

- ارتفاع حرارة الخلية نتيجة ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي.
- ارتفاع حرارة الخلية نتيجة زيادة شدة الإشعاع الشمسي.

- انخفاض حرارة الخلية بسبب زيادة تأثير انتقال الحرارة بتيارات الحمل الناشئة عن حركة الرياح.
- ارتفاع درجة حرارة الخلية نتيجة مرور التيار الكهربائي فيها.

- **تأثير شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلية على نقطة التشغيل القصوى على منحنى التشغيل**

تتغير نقطة التشغيل القصوى على منحنى التشغيل(**Pmax**) بصورة كبيرة عند تغير الظروف المناخية الخارجية وتحديدا عند تغير شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلية الشمسية. ويصعب التنبؤ بقيمة جهد وتيار القدرة القصوى(**Imax**) (**Vmax**)& وذلك بسبب الآتى :

- نتيجة التأثير المتداخل للإشعاع الشمسي وحرارة الخلية الفوتوفولتية.
- سرعة التغير في الظروف المناخية والتي تؤثر على قيمة شدة الإشعاع الشمسي وحرارة الخلية الشمسية.

عموما تزيد القدرة القصوى بزيادة شدة الإشعاع الشمسي وتنقص بارتفاع درجة حرارة السطح للخلية الشمسية .

**موديولات ومصفوفات الخلايا الشمسية**

نظرا لأن الخلية الشمسية هى أصغر وحدة فى الأنظمة الفوتوفلتية بالاضافة إلى أن الجهد المتولد منها صغيرا جدا ، مقارنة بجهد الاستخدام العادى للأجهزة الكهربائية، لذا يتم تجميع الخلايا مكونا لوحة أو موديول أو مصفوفة .

وفيما يلى تعريف هذه الاصطلاحات :

*** وحدة خلية فوتوفلتية (PV cell)**

هي عبارة عن معدة من مواد شبه موصلة وحساسة ضوئيا وتقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء، هذه المعدة محاطة بغلاف أمامي وخلفي موصل للكهرباء

*** موديول (Module)**

هي مجموعة من الوحدات الفوتوفلتية تجمع وتوصل معا على التوالي

*** لوحة (panel)**

هي مجموعة من الموديول تجمع وتوصل معا على التوالي للحصول على قيمة القدرة الكهربية اللازمة

*** المصفوفة (Array)**

هي الشكل النهائي للمسطح المكون من مجموعة من الألواح تجمع وتوصل معا على التوازي للحصول على الطاقة الكهربائية. والتى يراعى عند تركيبها أن تحقق زوايا ميول وتوجيها نحو الشمس وعدم تعرضها للظلال طوال فترة سطوح الشمس

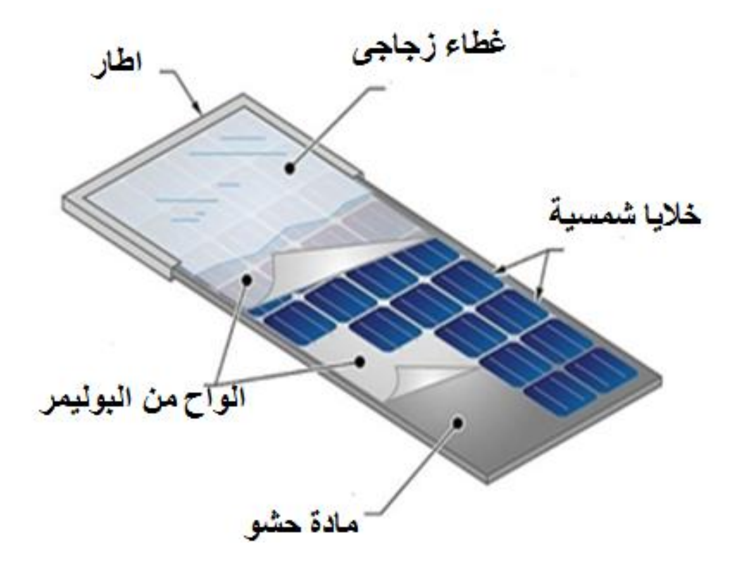
تشكل المنظومة الفوتوفلتية بطرق مختلفة ، مع الأخذ فى الاعتبار أن الموديول هو أصغر وحدة مستقلة لأنظمة الخلايا الفوتوفلتية يمكن الحصول علية تجاريا واستخدامة فى إنتاج الكهرباء (فى بعض التطبيقات ) دون الاحتياج لمعدات أخرى . من صور المنظومات الفوتوفلتية :

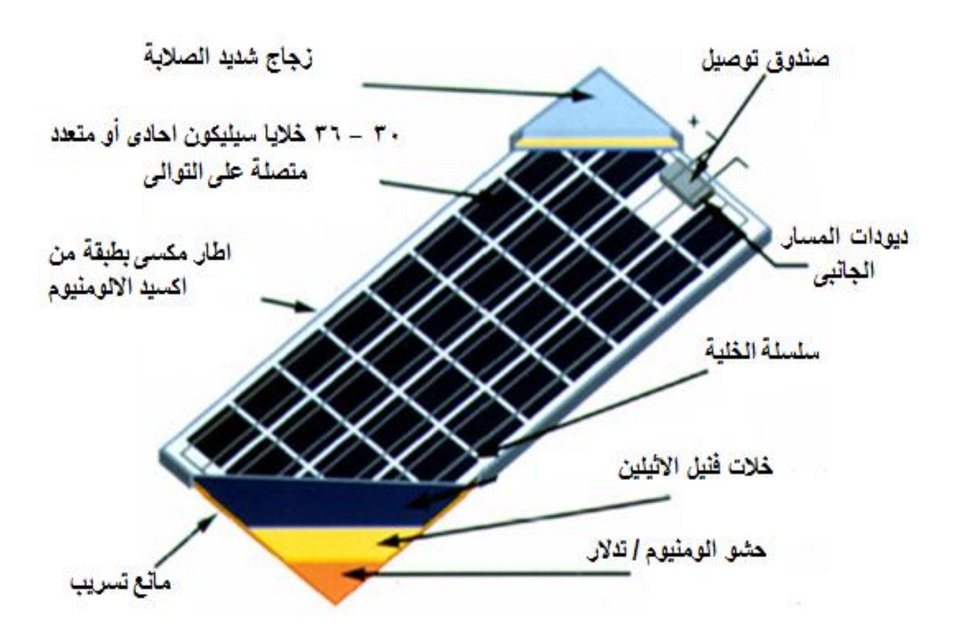
- مجموعة من الخلايا تشكل سلسلة (string) ، والسلاسل تكون موديول ، كما فى الأمثلة بشكل (٣٥)، ويوضح شكل (٣٦) أن الموديول يتكون من عدد من الخلايا الشمسية مغلفة بعدة طبقات من مواد الحماية.
- مجموعة من الموديول تشكل مصفوفة كما فى شكل (٣٧) والتى بدورها تكون حقل فوتوفلتية كما فى شكل (٣٨)
- مجموعة من الموديول تشكل لوحة والتى بدورها تكون مصفوفة كما فى شكل (٣٩)ا

يوضح شكل (٣٩)ب تكون المصفوفة من موديولات وسلاسل وخلايا . ويبين شكل (٤٠) اشكال مختلفة للخلايا المكونة للموديول

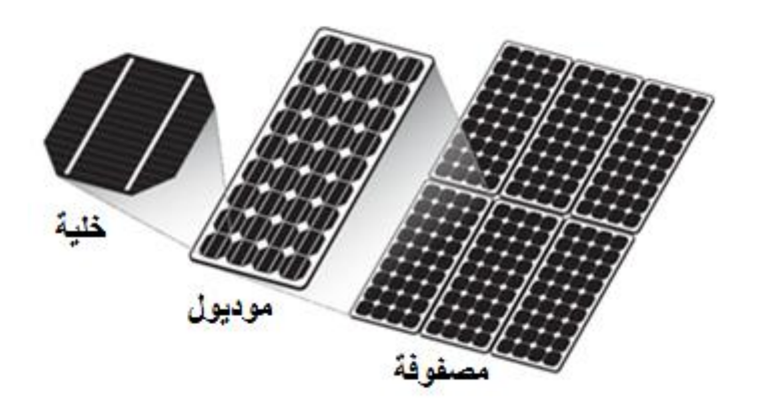


شكل (٣٥) مجموعة من المديول تستخدم مباشرة لبعض تطبيقات التيار المستمر





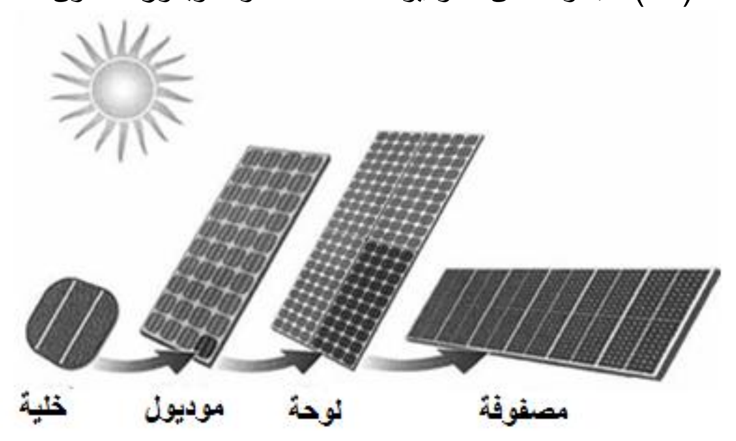

شكل (٣٦) يتكون الموديول من عدد من الخلايا الشمسية مغلفة
بعدة طبقات من مواد الحماية



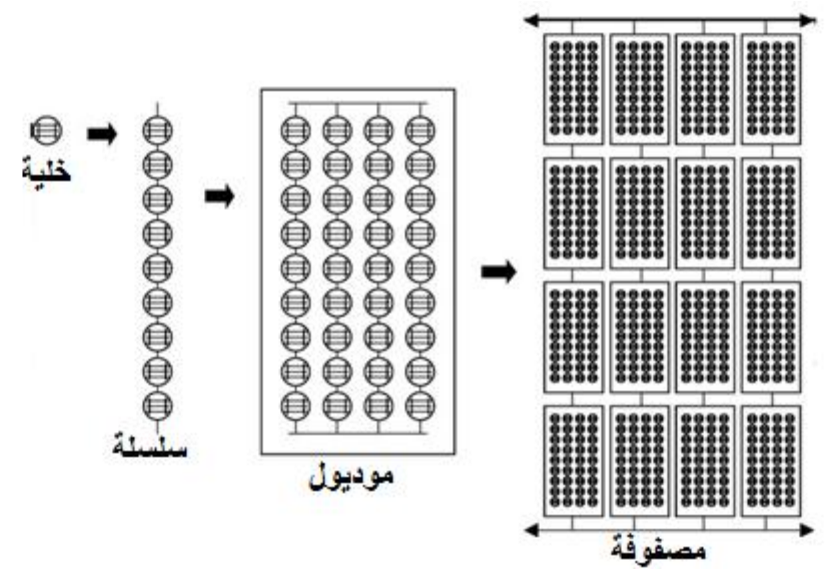

شكل (٣٧) مجموعة من الموديول تشكل مصفوفة



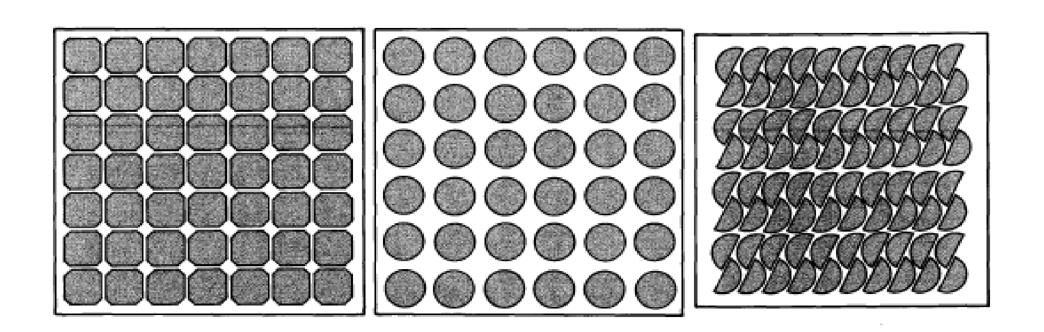

شكل (٣٨) مجموعة من الموديول تشكل مصفوفة وبدورها تكون حقل فوتوفلتية




شكل (٣٩)أ مجموعة من الموديول تشكل لوحة وبدورها تكون مصفوفة



شكل (٣٩)ب تتكون المصفوفة من موديولات وسلاسل وخلايا


شكل (٤٠) اشكال مختلفة للخلايا المكونة للموديول

## طرق تجميع الموديولات الفوتوفلتية

**Methods of assembling photovoltaic modules**

- **توصيل الموديولات على التوالي(Modules in series)**

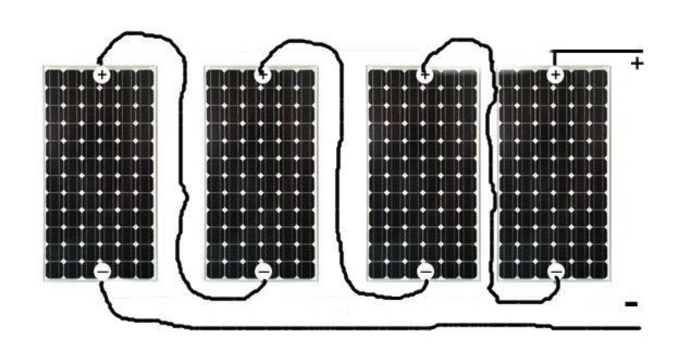
في الحالة المثالية عند توصيل مجموعة من الموديول المتماثلة عددها (n) على التوالي ، كما فى شكل (٤١) ، فإن فرق جهد الدائرة المفتوحة يساوي عدد الموديول مضروبا في جهد الموديول الواحد وذلك في حالة عدم مرور تيار (I=0) :

$$U_{SG} = nUoc_1 = nUoc_2 = ........$$

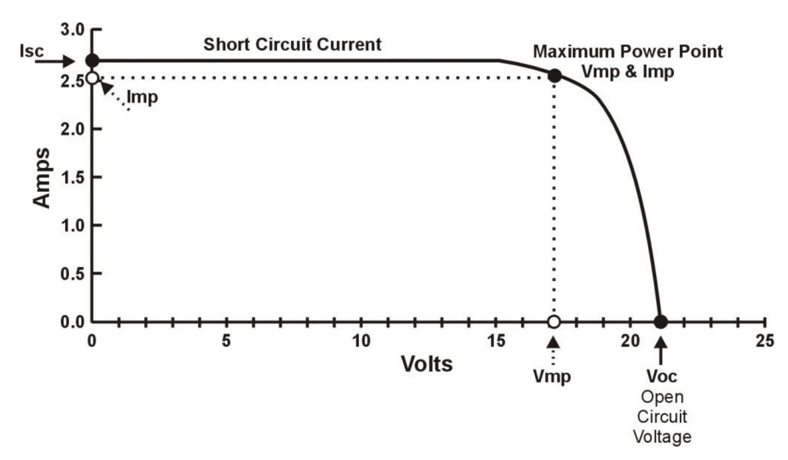
بينما عند وجود حمل متصل على مجموعة الموديول اي عندما I>0 فإن:

$$U_{SG} = \sum Un = U_1 + U_2 + U_3 = ........$$

يوضح شكل (٤٢) منحنى خصائص موديول




شكل (٤١) مجموعة موديول متصلة على التوالى




شكل (٤٢) منحنى خصائص موديول

- **توصيل الموديولات على التوازي (Modules in parallel)**

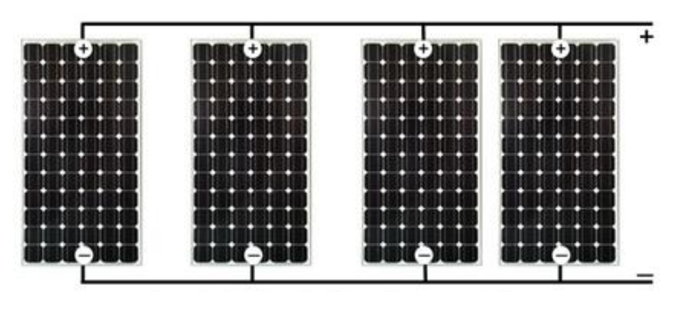
فى حالة توصيل عدد (m) موديول متماثل على التوازى ، كما فى شكل (٤٣) ، فإن الجهد الناتج يساوى جهد موديول واحد ، بينما التيار الناتج هو مجموع التيارات المارة فى كل موديول أى أن :

$$I_{SG} = \sum I_n = I_1 + I_2 + I_3 \ldots\ldots$$

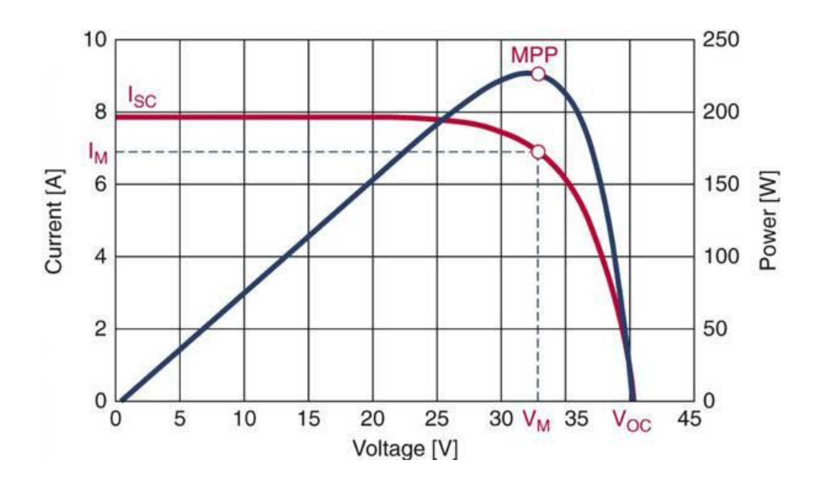
$$U_{SG} = U_1 = U_2 = U_3 \ldots\ldots$$

$$m = 1, 2 \ldots n$$

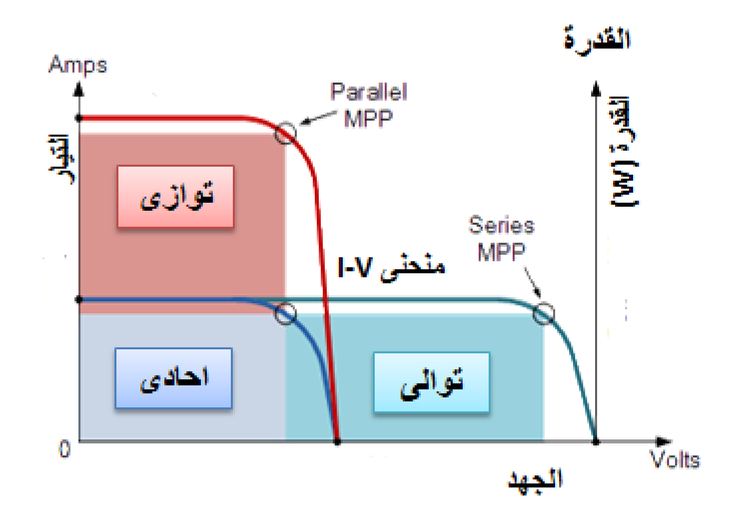
يوضح شكل (٤٤) منحنى خصائص موديولات متصلة على التوازى ، ويوضح شكل (٤٥) منحنى العلاقة بين V & I لحالتى توالى وتوازى مديولات.




شكل (٤٣) توصيل الموديولات على التوازى




شكل (٤٤) منحنى خصائص موديولات متصلة على التوازى




شكل (٤٥) منحنى العلاقة بين I & V لحالتى توالى وتوازى مديولات

## المولد الكهروشمسي (Solar Generator)

نظرا لانخفاض كفاءة الخلايا الفوتوفلتية نسبيًا (لا تتجاوز % ١٦ )، لذا يتم استخدام العديد من الموديولات ( أو المصفوفات ) الفوتوفلتية للحصول على قدرة كهربائية كبير ة، مجموعة هذه الموديولات (أو المصفوفات ) تعرف بالمولد الكهروشمسي.

يعتمد الجهد الناتج على عدد الموديولات الموصلة على التوالى بينما يعتمد التيار على عدد سلاسل الموديولات المتصلة على التوازى ، طبقا للمعادلات الاتية :

$$V_{out} = \Sigma V_n = V1 + V2 + V3 + ------ + Vn$$

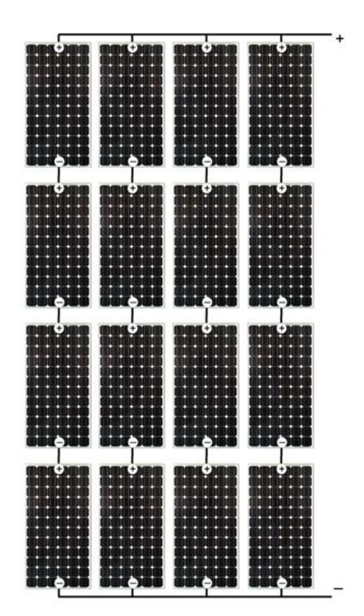
$$I_{out} = \Sigma I_m = I1 + I2 + I3 + ----- + Im$$

حيث:
(n) عدد الموديولات الموصلة على التوالى .
(m) عدد الموديولات الموصلة على التوازى.

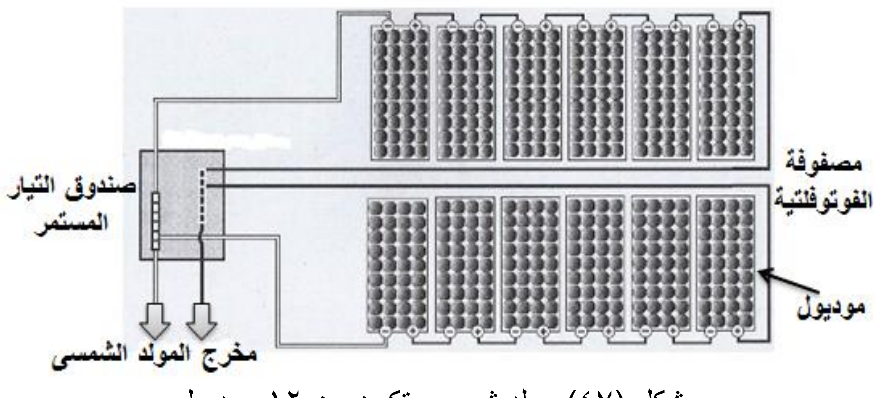
وتحسب  القدرة الناتجة من المعادلة التالية  :

$$P_{out} = \Sigma V_n \Sigma I_m = (V1 + V2 + ------ + Vn)( I1 + I2 + ----- +Im)$$

يوضح شكل (٤٦) مجموعة من الموديولات مكونة مصفوفة  ( أو مولد شمسى ) عبارة عن  عدد ٤ سلاسل موديولات ، كل سلسلة تتكون من عدد ٤ موديولات ، وعلى ذلك فأن مخرج القدرة هو حاصل ضرب : اربعة أضعاف تيار الموديول & اربعة أضعاف جهد الموديول ويوضح شكل (٤٧) مولد شمسى يتكون من ١٢ موديول



شكل (٤٦) مولد شمسى يتكون من ١٦ موديول



شكل (٤٧) مولد شمسى يتكون من ١٢ موديول

**<u>كفاءة تحويل طاقة الخلية الشمسية</u> ( PV Energy Conversion Efficiency)**

تعرف كفاءة تحويل الطاقة للخلية (أو الموديول ) الشمسية بأنها النسبة المئوية للقدرة المحولة من الإشعاع الضوئى الممتص ، عندما تكون الخلية ( أو الموديول ) الشمسية متصلة بدائرة كهربائية ، و تحسب من المعادلة الآتية :

$$\eta = \frac{Pm}{E * Ac} \quad \%$$

حيث :

*Pm* = maximum power point (MPP)
( electric power generated in watt )
= القدرة الكهربائية المولدة ( وات )

*E* = the input light irradiance (in w/m$^2$) under (STC)
= مدخل إشعاع الضوء ( وات/ م٢ )

*Ac* = Surface area of the Solar Cell (in m$^2$)
= مساحة سطح الخلية الشمسية (م٢)

## عامل الملئ (Fill Factor ) (FF)

هو مقياس لمربع منحنى (V-I) ، يكون للخلية الشمسية ذات الجهد الأعلى ، عامل ملئ أكبر ، يوضح شكل (٤٨) تعريف عامل الملئ .

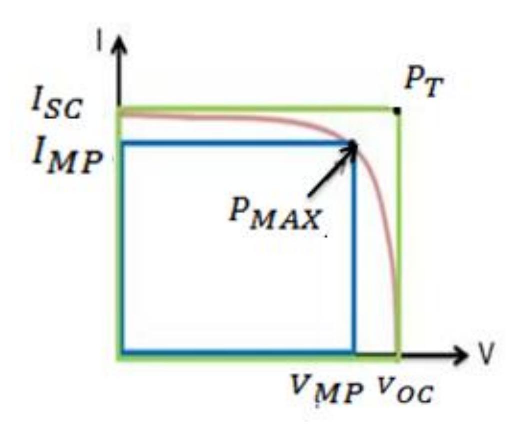
$$FF = \frac{P_{MAX}}{P_T} = \frac{I_{MP}\, V_{MP}}{I_{SC}\, V_{oc}}$$

ونحصل على كفاءة الخلية الشمسية بدلالة عامل الملئ كما فى المعادلة التالية

$$P_{MAX} = I_{SC}\ .\ V_{oc}\ FF$$

$$\eta = \frac{I_{SC}\,.V_{oc}\,.FF}{P_{IN}}$$

حيث $P_{IN}$ القدرة الواقعة على الخلية (incident power)




شكل (٤٨) تعريف عامل الملئ

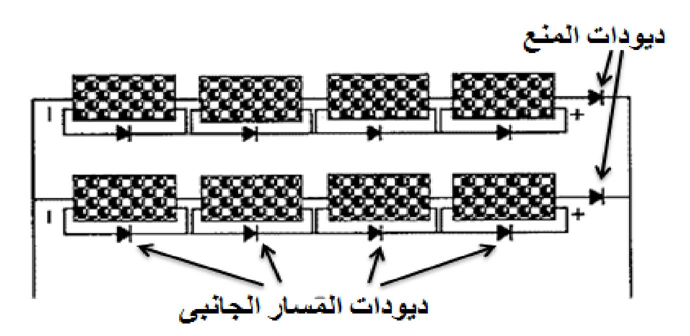
## ديودات المسار الجانبى وديودات المنع

**Bypass Diodes & Blocking Diodes**

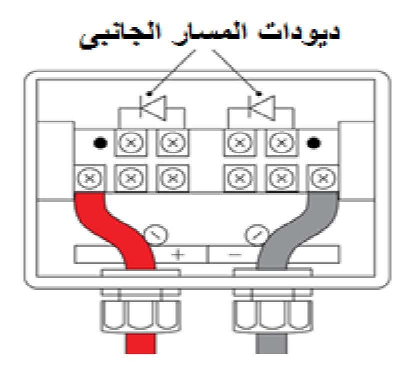
- ديودات المسار الجانبى تسمح للتيار بالمرور فى حالة وجود ظلال على أحد الخلايا والتى عندها تصبح الدائرة مفتوحة أو كمقاومة كبيرة جدا

- ديودات المنع تكون مفيدة فى حالة توصيل التوازى .
يمنع دايود المنع مرور تيار فى الاتجاة المعاكس للتوصيلة السلسلة والتى حدث بها عطل لأحد المديولات.

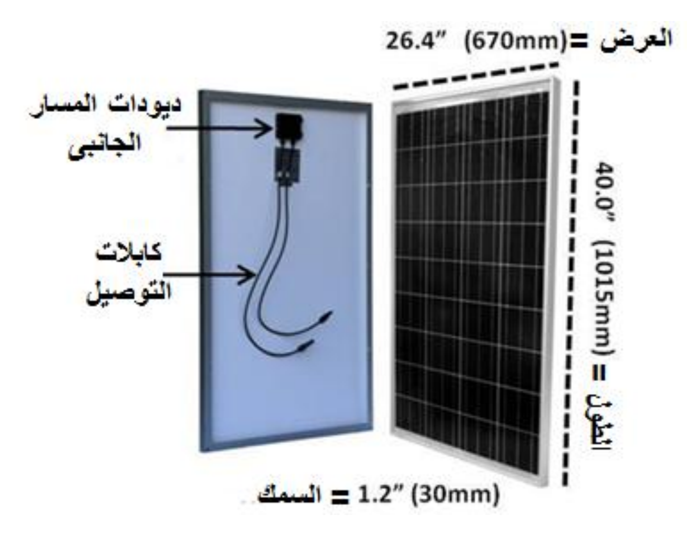
يوضح شكل (٤٩) تمثيل لتوصيل ديودات المنع وديودات المسار الجانبى ، ويبين شكل (٥٠) مكان تركيب ديودات المسار الجانبى داخل صندوق توصيلات أطراف الموديول .
يبين شكل (٥١) تمثيل لمقاس موديول ومكان تركيب ديودات المسار الجانبى فى الجانب الخلفى للموديول




شكل (٤٩) تمثيل توصيل ديودات المنع وديودات المسار الجانبى




شكل (٥٠) مكان تركيب ديودات المسار الجانبى
داخل صندوق توصيلات أطراف الموديول




شكل (٥١) تمثيل لمقاس موديول ومكان تركيب ديودات
المسار الجانبى فى الجانب الخلفى للموديول

**مثال للخصائص الكهربائية لخلية وموديول**

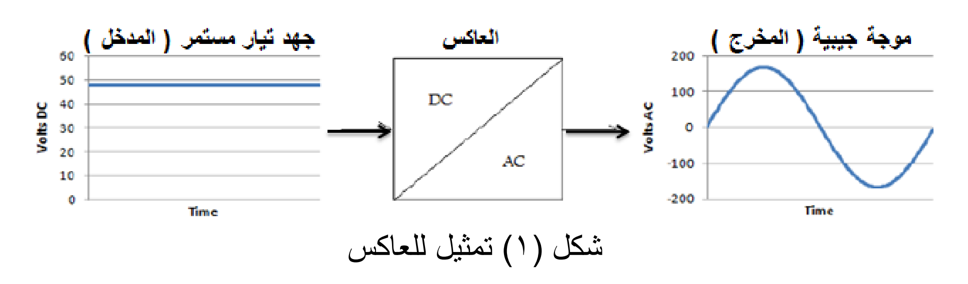
يوضح جدول (٦)خصائص خلية وموديول عند STC (شروط الاختبار القياسى )

جدول (6)خصائص خلية وموديول عند STC

| الخصائص | الخلية | الموديول |
|---|---|---|
| المساحة ($m^2$) | 0.01 | 0.72 |
| جهد الدائرة المفتوحة ($V_{oc}$) (volt) | 0.60 | 21.6 |
| تيار دائرة القصر ($I_{sc}$) (amp) | 3.270 | 6.54 |
| جهد أقصى قدرة ($V_{max}$) (volt) | 0.483 | 17.40 |
| تيار أقصى قدرة ($I_{max}$) (amp) | 2.870 | 5.74 |
| أقصى قدرة ($P_{max}$) (watt) | 1.389 | 100 |

# الباب الخامس
# العاكسات
# Inverters

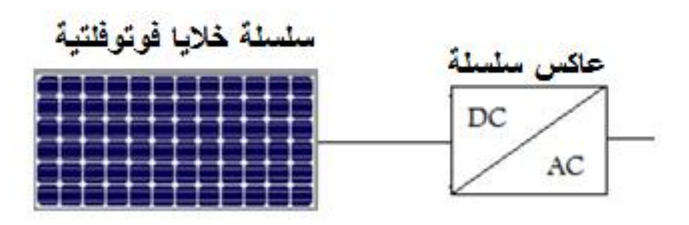
في أنظمة الفوتوفلتية المتصلة بالشبكة الكهربائية العامة ، يجب تحويل التيار المستمر (DC) ، الخارج من مصفوفة الفوتوفلتية ، إلي تيار متردد (AC) لربطه بالتيار المتردد للشبكة العامة . لتحقيق ذلك يستخدم العاكس لتحويل DC إلي AC ، يوصف هذا المكون بـ"قلب" النظام ويعرف بإسم وحدة التكيف (Conditioning unit) أو (Inverter) . يوضح شكل (١) تمثيل للعاكس .



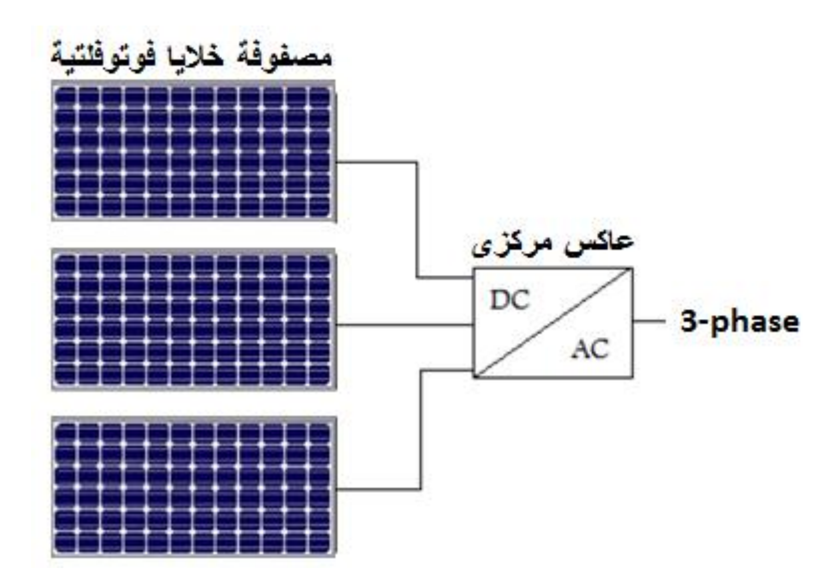

شكل (١) تمثيل للعاكس

ظهرت أغلب العاكسات في منتصف ١٩٩٥ وتتكون من عاكس مركزي ( central inverter) لمقنن قدرة أعلي من 1kw تتغذي من مجموعة سلاسل فوتوفلتية متصلة علي التوازي من خلال قضبان DC . وقد قابل هذه الطريقة بعض العوائق مثل ضياع انتاج الكهرباء بالكامل عندما ينفصل العاكس نتيجة عدم توافق سلاسل الفوتوفلتية معا . مؤخرا ، أصبحت عاكسات السلاسل الفوتوفلتية (String inverters) هى الأكثر شيوعا ، وفيها يصمم النظام لسلسلة واحدة ، وتستخدم لتقليل المشاكل. هذا العاكس يوصل مباشرة إلي الشبكة الكهربائية ويتصف بالمرونة المرتفعة ، بالاضافة إلي أنه يتغلب علي المشاكل المتعلقة : بارتفاع مستوى جهد DC ، والامان ، ومفقودات الكابلات ، ومخاطر القوس الكهربي جهة DC ، وكذلك استكمال الطاقة في حالة تعرض الموديولات الفوتوفلتية إلي تأثير الظلال (shading) .

يوضح شكل(٢) تمثيل عاكس سلسلة . ويوضح شكل (3)تمثيل عاكس مركزى.




شكل (٢) تمثيل عاكس سلسلة




شكل (٣) تمثيل عاكس مركزى

يوضح شكل(٤) تصنيف أنواع العاكسات .

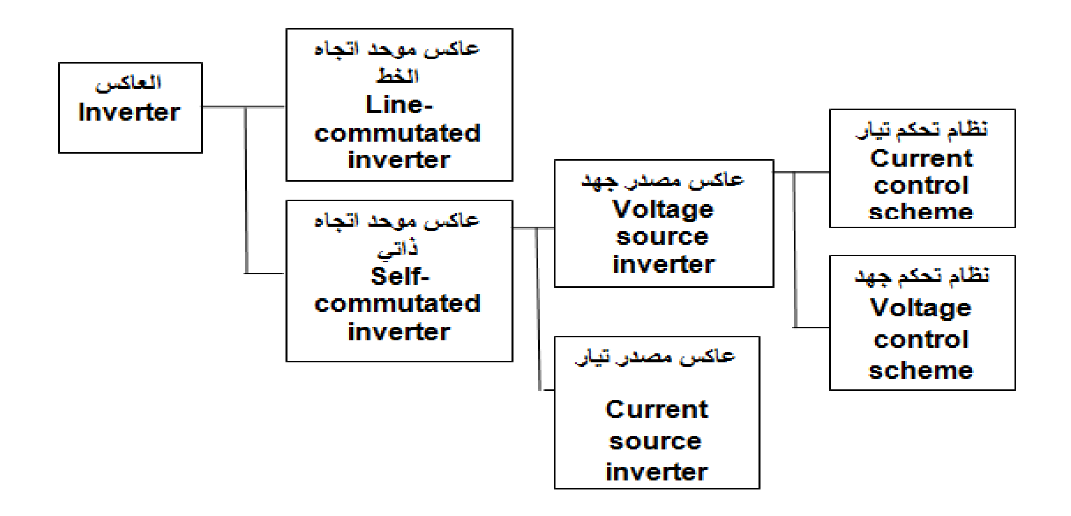
يستخدم عاكس موحد إتجاه الخط (Line commutated inverter) معدة تحويل مثل ثيريستور التوحيد (commutating thyristor) والذي يمكن أن يتحكم في زمن

التوصيل ولكن لا يمكنه التحكم في زمن الفصل بنفسه . لاجراء عملية الفصل يجب تخفيض تيار الدائرة إلي الصفر بمساعدة دائرة أو مصدر مكمل . خلاف ذلك ، عاكس موحد الاتجاه الذاتي (Self –commutated inverter) يحتوي علي معدة تحويل للتحكم الحر في حالتي التوصيل (ON) والفصل (OFF) ، مثل أنواع الترانزستور الاتية :

(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), (MOSFET) &

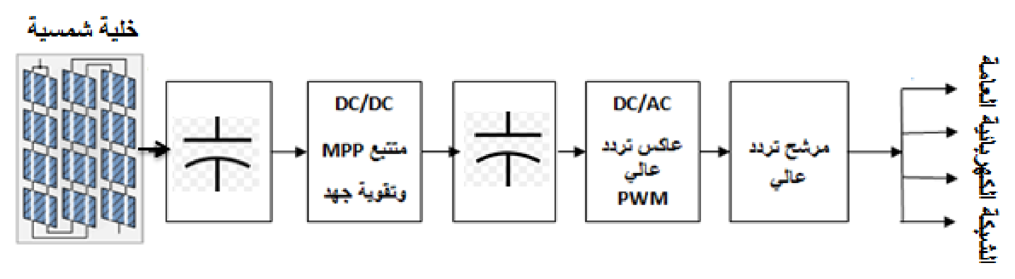
( Insulated- Gate Bipolar Transistor), (IGBT)

يتحكم عاكس الاتجاه الذاتي بالكامل وبحرية في موجتي الجهد والتيار ، عند جانب التيار المتردد (AC) ، ويضبط معامل القدرة ، ويخمد تيارات التوافقيات ، ويكون مقاومة عالية جدا ضد الاضطرابات الحادثة علي شبكة التغذية . نتيجة تحسن معدات التحويل (Switching devices) ، فأصبحت العاكسات شائعة الاستخدام مع الأنظمة الفوتوفلتية هي عاكسات الاتجاه الذاتي . تكون المرحلة الامامية عبارة عن تتبع نقطة أقصي حمل (MPP tracker) وذلك للحصول علي أقصي مخرج قدرة للخلايا ، لان أقصي قدرة مسحوبة من الخلايا تعتمد علي تغير درجة الحرارة وشدة الاشعاع .



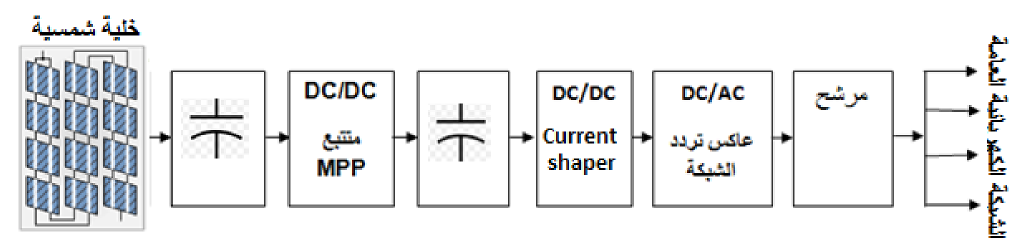

شكل(٤) تصنيف أنواع العاكسات

يوضح شكل (5) مكونات عاكس جهد تغذية . موحد ذاتي يعمل عند تردد عالي - أولا يبدأ بتقوية أو تعزيز (boosted) جهد الخلية إلي مستوي جهد الشبكة العامة بالمتتبع . مرحلة تحويل DC/AC– والتي عادة تكون عاكس مصدر جهد- معدل مدي النبضة ( Pulse Width modulation(PWM) يعمل علي تشكيل وتحويل تيار المخرج . ويستخدم مرشح تردد عالي (high Frequency Filter) لحذف مركبات الترددات العالية من مخرج العاكس .




شكل(٥) عاكس جهد تغذية – موحد ذاتي يعمل عند تردد عالي

ويوضح شكل(٦) مكونات عاكس تيار تغذية موحد شبكة يعمل عند تردد الشبكة الكهربائية العامة ، وفيه تكون المرحلة المتقدمة عبارة عن المتتبع ومقوي الجهد وتشكيل تيار المخرج وذلك عند تردد مساوي لتردد الشبكة الكهربائية العامة .




شكل(٦) عاكس تيار تغذية موحد شبكة يعمل عند تردد الشبكة الكهربائية العامة

يوجد نوعين من عاكس الموحد الذاتي هما عاكس جهد وعاكس تيار ، كما في شكل(٤) .

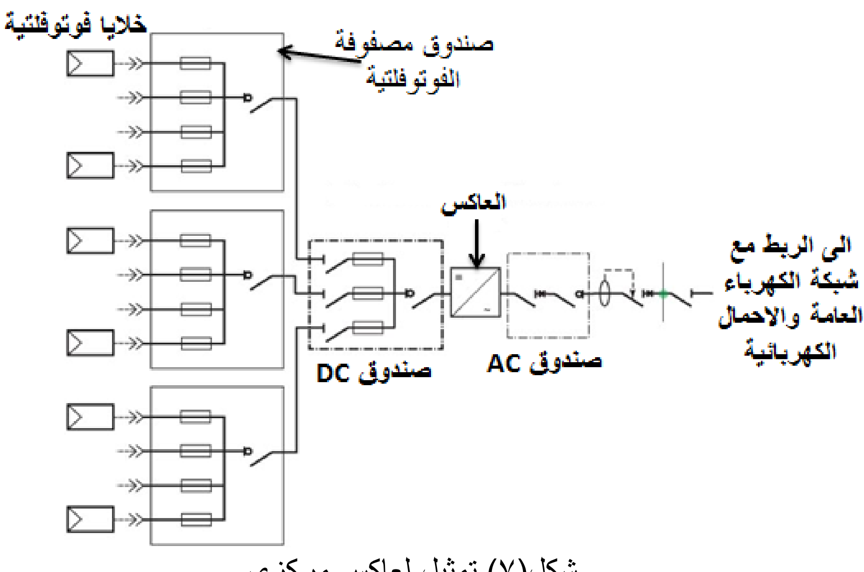
يبين جدول (١) مقارنة بين عاكس تحكم جهد وعاكس تحكم تيار

جدول (١) مقارنة بين عاكس تحكم جهد وعاكس تحكم تيار

| البند | تحكم جهد | تحكم تيار |
| --- | --- | --- |
| الدائرة الأساسية للعاكس | عاكس جهد تغذية – موحد ذاتي ( مصدر جهد DC ) | |
| منظور التحكم | جهد AC | تيار AC |
| تيار قصر الدائرة | عالي | منخفض<br>( يحدد تبعا للتيار المقنن) |
| تشغيل منفرد<br>(stand-alone) | ممكن | غير ممكن |

**عاكسات مركزية وعاكسات سلاسل (central inverters , string inverters)**

كانت الأنظمة الفوتوفلتية المركزية المرتبطة مع الشبكة من أوائل الاستخدامات . ولكن أصبحت عاكسات المرحلة الواحدة (single-stage inverters) هي الأكثر شيوعا لأنها تشمل كل الوظائف التالية : التحكم في التيار ، تحويل وتتبع MPP . يوضح شكل (٧) تمثيل لعاكس مركزي . يجب تجنب العاكسات المركزية لو لم تشمل ضمانات ضد الجهود المرتفعة .



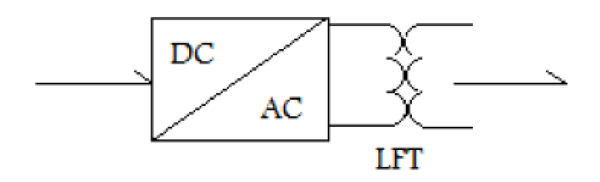

شكل(٧) تمثيل لعاكس مركزي

أصبحت الانظمة الفوتوفلتية الكبيرة في المدي من 5Kw إلي 1Mw شائعة الاستخدام . تستخدم العاكسات المركزية الحديثة تكنولوجيا أشباه الموصلات IGTB والتي تتكون من موحدات اتجاه ذاتي ولها جودة تغذية كهربية محسنة - ما زال يستخدم MPPT في كثير من التصميمات للعاكسات المركزية للحصول علي أكثر كفاءة اندماج بين العاكسات والمخرج الكلي لمصفوفة الفوتوفلتية .

وتعتبر التكنولوجيا الأكثر نجاحا هي عاكس السلسلة . وأغلب هذه العاكسات تستخدم إما MOSFET أو أشباه موصلات IGBT بدلا من الثيريستورات (thyristors) لتشغيل الموحد الذاتي .
طبقا لـ IEA (وكالة الطاقة الدولية ) (International Energy Agency ) فان :

- 62% من العاكسات بقدرة أقل من 50Kw تستخدم مفاتيح تشغيل IGBT بتردد تشغيل 20KHz
- 83% من العاكسات تستخدم MOSFET بتردد تشغيل يتراوح بين 10KHz إلي 20KHz
- مفاتيح MOSFET يمكن أن تعمل بترددات أسرع من 800KHz

من المتاح جهود مرتفعة للمدخل للتغلب علي مراحل تكبير الجهود ، بالاضافة إلى أنه من المتاح أيضا الجهود الأصغر وذلك باضافة محول DC-DC أو محولات تردد الخط عند المخرج . يوضح شكل(٨) تمثيل مبسط لعاكس السلسلة ، والذي من الممكن أن يشمل مراحل تحويل متعددة في نفس هيكل (جسم) العاكس .




شكل(٨) تمثيل مبسط لعاكس السلسلة

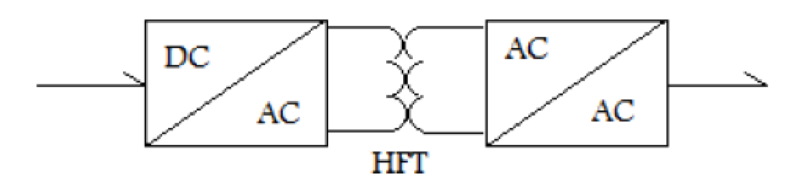
ويمكن أن تؤدي عاكسات المرحلة الواحدة الوظائف الآتية : تتبع نقطة أقصي قدرة MPPT ، العكس ،والتحكم وذلك في نفس المرحلة . تشمل الفوائد : البساطة والحد من مدي الجهد . يمكن أن تستخدم عاكسات المرحلة الواحدة إما أربعة أو ستة هياكل مفاتيح (switch structures) . من الشائع استعمال محولات تردد منخفض (LF) مع أربعة هياكل مفاتيح عند مخرج التيار المتردد .

يكون للعاكسات متعددة المراحل مدي جهد مدخل أوسع ، وسعة قدرة أكبر ، مع فرصة الربط بمحولات تردد عالي (HF) لتقليل الوزن بينما تجهز بعزل كافي . تكون الدائرة في هذه الحالة أكثر تعقيدا عن عاكسات المرحلة الواحدة

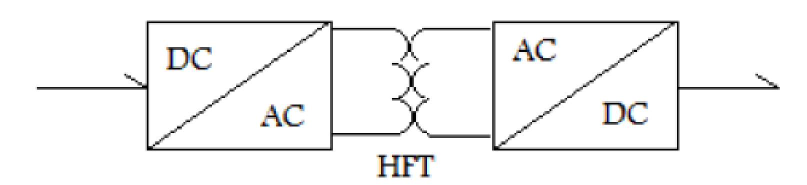
يتضح من الشكلين(٩) ،(١٠) اختيارات لأوضاع مختلفة للمحولات في حالة المراحل المتعددة توجد اختيارات مختلفة هي :

1. DC-DC-AC
2. DC-AC-DC-AC
3. DC-AC-AC-etc

يعتمد الاختيار بين تكنولوجيا المرحلة الواحدة والمراحل المتعددة علي مقارنة : الوزن ، التكاليف ، الكفاءة ، الحجم ، مقنن القدرة ، جودة التغذية ، ...... ويعتمد استخدام المحولات علي اللوائح الموجودة بالمنطقة وعلي احتياطات الأمان . وتعتبر العاكسات متعددة السلسلة هي الأكثر تطويرا للعاكسات السلسلة . كل سلسلة pv تشمل تتبع MPP مستقل ، مرحلة تحويل DC-DC مع مرحلة عكس من النوع الشائع . كل سلسلة ستكون عند نقطة تشغيل مختلفة (مثل : الاتجاه- الظل – ماركة الموديول ) بدون التأثير علي تشغيل السلاسل الأخري ، بينما تتحول الطاقة خلال نفس مرحلة العكس . ومازالت تكنولوجيا السلاسل المتعددة غير مستخدمة بتوسع في العاكسات الصغيرة للأنظمة الفوتوفلتية المستخدمة للمنشآت التجارية والمنزلية .



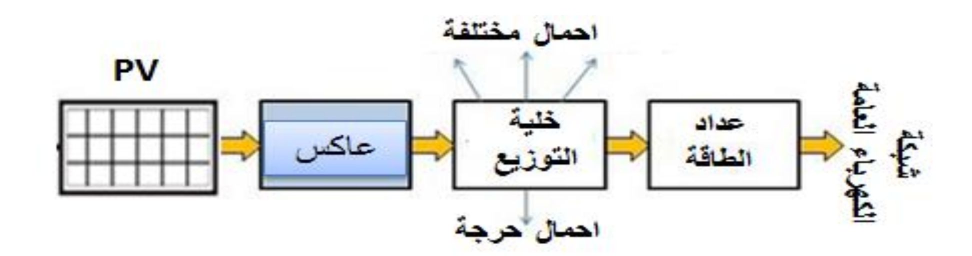

شكل(٩) عاكس متعدد المراحل بمحول ومبدل (converter) (AC – AC)



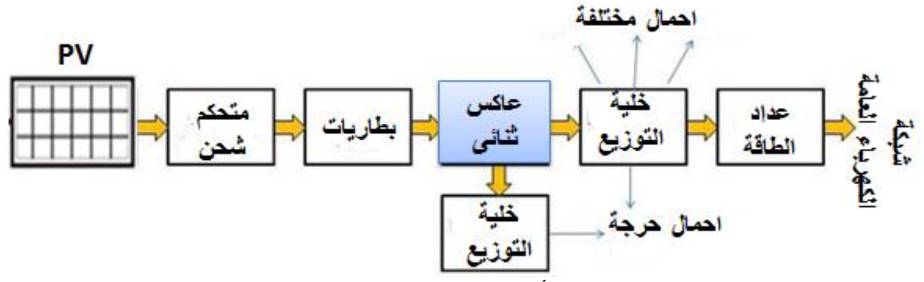

شكل(١٠) عاكس متعدد المراحل بمحول ومبدل (converter) (AC - DC)

**عاكسات ثنائية الشكل (Bimodel inverters)**

هذا النوع من العاكسات يعمل طوال الوقت كعاكس مركزى ، ولكن عندما يكتشف العاكس حدوث فصل لشبكة الكهرباء العامة ، فإن العاكس يفصل فورا اتصالة بالشبكة العامة ، ويصبح وحدة مستقلة تغذى الأحمال الكهربائية. يلزم مع هذه العاكسات اضافة مجموعة بطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية واستخدامها وقت الاحتياج . ويوضح شكل(١١) تمثيل لأحمال مغذاة من عاكس مركزى بينما يوضح شكل(١٢) توزيع الأحمال المغذاة من عاكس ثنائى الشكل .



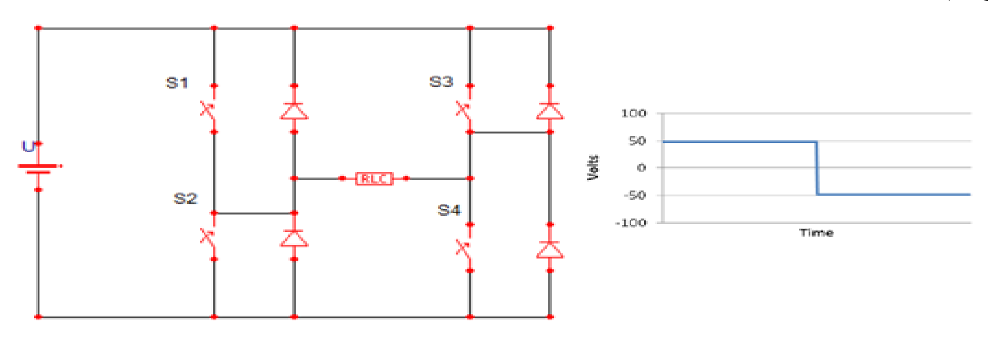

شكل(١١) تمثيل لأحمال مغذاة من عاكس مركزى




شكل(١٢) توزيع الأحمال المغذاة من عاكس ثنائى الشكل

## فكرة عمل العاكس

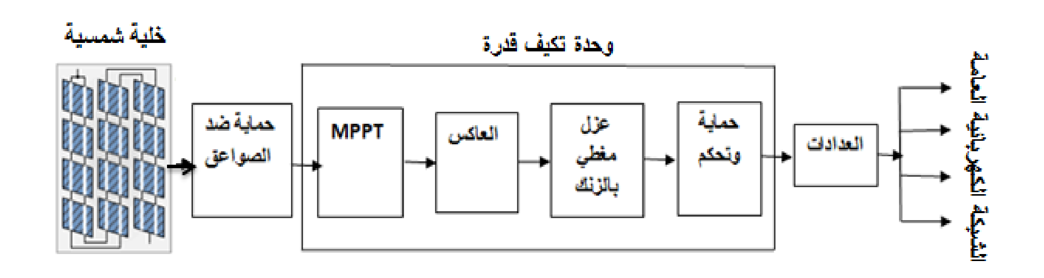
تعتبرالعاكسات من المعدات الإلكترونية (electronic solid – state devices) حيث تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية من DC إلي AC . ويمكن تمثيل العاكس بدائرة مبسطة كما في شكل (١٣) حيث تمثل المفاتيح النموذجية في الدائرة بـ MOSFETs أو IGBTs أو الترانزستورات ثنائية القطب (bipolar transistor) اعتمادا علي القدرة والجهد المطلوبين . عند تحويل المفاتيح إلي وضع التوصيل (ON) والفصل (OFF) تبعا للتردد AC المطلوب (S1 &S3 and S2&S4) يمكن الحصول علي موجة مربعة كما في الشكل ،ويعتبرهذا تحكم بسيط ، وغير متاح لهذا النوع التحكم في جهد الحمل بالاضافة الي احتواء موجتي الجهد والتيارعلى توافقيات . باستخدام PWM يمكن تخفيض التوافقيات والتحكم في جهد الحمل . وتسبب التوافقيات العالية سخونة زائدة لمحركات الأحمال نتيجة ارتفاع مفقودات النحاس . يمكن أن تتأثر أيضا الأحمال الالكترونية أثناء التشغيل . والتكنولوجيات الحديثة و المتقدمة تتصف حاليا باحتوائها على توافقيات منخفضة جدا .




شكل(١٣) تمثل الدائرة الكهربائية المبسطة للعاكس

يوضح شكل(١٤) نظام فوتوفلتية متصل بالشبكة ، يتكون من :

- خلايا فوتوفلتية PV Panels
- وحدة تكيف قدرة (power conditioning) والذي يتكون من : تتبع MPP ، العاكس ، وعزل مطلي بالزنك (اختياري) (galvanic isolation) ، ومعدات تحكم ووقاية .
- هذه المكونات تكون معا في جسم هيكلي واحد أو وحدة وذلك لتقليل تكاليف الانتاج والانشاءات . تعرف هذه المكونات بالعاكس (inverter) .

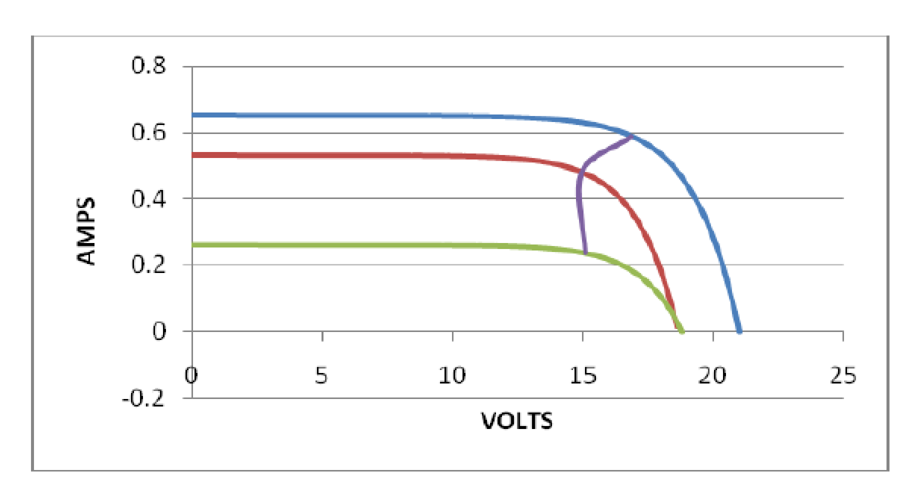



شكل(١٤) تمثيل نظام فوتوفلتية متصل بالشبكة

وفيما يلي عرض مختصر لمحتويات وتعريفات ما يحتويه شكل(١٤) :

## ١. <u>تتبع أقصي نقطة قدرة MPPT (Maximum power point Tracker)</u>

نتيجة تغير الاشعاع الشمسي طوال اليوم فان الجهد الأسمي والتيار الأسمي الصادرين من مصفوفة الفوتوفلتية لا يكونا متاحين طوال اليوم . ويوضح شكل (15) منحنيات I-V لموديول PV عند خصائص تشغيل مختلفة . يضمن MPPT الحصول علي القدرة المثلي الناتجة من موديولات PV عند أي ظروف تشغيل معطاه . توجد طرق حسابية مختلفة لاتمام تحكم MPPT ، من هذه الطرق الحصول علي جهد يزيد أو يقل تبعا لمراحل ( أو خطوات ) صغيرة جدا ويراقب قدرة المخرج حتي يصل لنقطة أقصي قدرة .




شكل(١٥) منحنيات I-V لموديول PV عند خصائص تشغيل مختلفة

### ٢. **العاكس (Inverter)**

كما ذكر سابقا يوجد نوعان هما

- عاكس موحد اتجاه الخط
- عاكس موحد الاتجاه الذاتي

### ٣. **تزامن التردد والجهد (voltage and frequency synchronization)**

يجب أن تعمل العاكسات بدون مشاكل عند التعرض للتقلبات العادية فى الجهد والتردد عند جانب الشبكة العامة . تحتوي المتحكمات علي أجهزة حماية تراقب بصفة مستمرة جهد وتردد الشبكة العامة . عند خروج هذه القيم خارج الحدود المسموحة عندئذ تفصل الوحدة بعد زمن محدد مقبول ، بينما يسمح بتشغيل العاكس عند حدوث انحدار جهد ( voltage sag) أو انتفاخ جهد (voltage swell) . يجب أن يكون تيار العاكس في نفس الاتجاه مع جهد الشبكة العامة (معامل قدرة ≃١)

## ٤. حماية الجذر (Islanding protection)

عند فصل مصدر تغذية الشبكة العامة نتيجة أي سبب (مثلا فصل قاطع التيار بسبب عطل أو قصر) ، عندئذ يفصل العاكس . وهذه الخاصية تمثل أمان من المخاطر . ويجب أن تطلب لجميع حالات أنظمة التوصيل مع الشبكة العامة .

## ٥. تفاعل العاكس للأعطال (Inverter reaction to faults)

تمتاز عاكسات جهد المصدر ذات التحكم في التيار بالآتي :

- معامل القدرة ≃ ١ ( باستخدام تحكم بسيط )
- خامد التيار العابر Transient current suppression

يتم تحديد تيار العطل في المدي من 100% إلي 200% من التيار المقنن (rms) . ويحد تيار العطل المعطي من هذه العاكسات عن طريق انظمة التحكم والوقاية بهم . في العاكسات المستخدمة لمفاتيح الترددات السريعة تسمح بكشف التيارات العالية والتي يمكن ان تتعدي مقننات اشباه الموصلات بهم ، وتعمل علي ايقاف التشغيل خلال 0.5 دورة .

## ٦. جودة التغذية (power quality)

لخاصية جودة التغذية يكون الأهتمام أساسا بالتوافقيات والتيار المستمر (DC) المحقونة في الشبكة العامة المحلية للكهرباء . في تقرير (IEA) (وكالة الطاقة الدولية ) (International Energy Agency) وجد أن أغلب العاكسات PWM تكون مستوي التوافقيات المحقونة أقل من 5% ، لا يمكن التخلص بالكامل من التوافقيات نتيجة عمليات التشغيل اللازمة في PWM ، ولكن استخدام مفاتيح الترددات العالية والمرشحات تؤدي إلي انخفاض مستوي التوافقيات عند مخرج التيار المتردد . لا تؤخذ مشاكل الارتعاش (Flicker) في الاعتبار عند الاعتماد والموافقة علي العاكسات لأن ارتعاش الجهد يكون علي جانب DC والذي يعتمد علي اشعاع الشمس ، وقد ثبت أنه يسبب تغير بسيط .

## ٧. عزل التيار المستمر(عزل مغطي بالزنك ) (( DC Isolation(Galvanic Isolation)

قديما كان تصميم العاكسات ذات القدرة الصغيرة مرتبط بمحول تردد منخفض عند مخرج العاكس - ومازال ذلك مستخدما للعاكسات الكبيرة ثلاثية الأطوار . وفي بعض الحالات يستخدم محول خارجي آخر . تكون المجموعة الاتجاهية Dy (vector group) لمحولات التوزيع ثلاثية الأطوار، بينما يستخدم محول عزل أحادي الطور بنسبة تحويل ١:١ لتوصيلات الجهد المنخفض ذات الطور الأحادي . تعمل المحولات علي منع التيارات المستمرة (DC) الصادرة من مفاتيح شبه الموصلات للمرور إلي شبكة التوزيع (حيث أن تيارات DC يمكن أن تؤدي إلي حالة تشبع (Saturation) للمحولات ) والتي تمثل جزء من دائرة مرشحات التوافقيات بالعاكس .

يجب توصيل المحول بنقطة الأرضي للحفاظ علي العزل الكهربي . بعض الأكواد واللوائح التنظيمية ببعض الدول لا تنص علي االحاجة إلي محول عزل . يسمح باستخدام محولات الترددات العالية (HF) في مرحلة تحويل التردد العالي داخل العاكس وهي صغيرة ووزنها خفيف ، وتجهز بمحولات تردد خطي (Line frequency) (LF) معزولة كهربيا ، هذه المحولات تسبب مفقودات حوالي 2% وتمثل الجزء الأكبر من وزن وتكلفة العاكس .

## متطلبات التشغيل (operating requirements)

من المواصفات الهامة المواصفات القياسية العالمية : IEEE 1547 ، UL 1741 والتي تنص علي :

١- متطلبات الفصل
يوضح جدول (٢) متطلبات الفصل طبقا للـ IEEE 1547

٢- ويوضح جدول (٣) حدود تيارات التوافقيات الفردية ، بينما تحدد التوافقيات الزوجية بنسبة 25% من القيم المعروضة بالجدول ) وذلك طبقا للـ IEEE 1547

٣- تحدد تيارت الحقن DC ب 0.5% من التيار المقنن

جدول (٢) متطلبات الفصل طبقا لـ IEEE 1547

| الحالة | زمن الفصل (Cycle : دورة) |
|---|---|
| عزل الجزر Islanding | 6-120 |
| V < 50% | 6 |
| 50% < v < 88% | 120 |
| 88% < v < 110% | التشغيل العادي |
| 110% < v < 137% | 120 |
| V > 137% | 2 |
| 98.8% > F > 101 % | 6 |

جدول (٣) حدود التوافقيات طبقا لـ IEEE 1547

| رقم التوافقية الفردية | h < 11 | 11 ≤ h < 17 | 11 ≤ h < 23 | 23 ≤ h < 35 | h ≥ 35 | TDD |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **%** | **4** | **2** | **1.5** | **0.6** | **0.3** | **5** |

**TDD = Total Distortion Demand**

**عاكسات الأنظمة الفوتوفلتية غير المتصلة بالشبكة (stand-alone inverters)**

في المحطات الفوتوفلتية غير المتصلة بالشبكة ، يتم تخزين الطاقة من خلال بطاريات وتغذية الأحمال بالتيار المستمر (DC) . في حالة وجود أحمال تيار متردد (AC) ، مثل

أنظمة الإضاءة والثلاجات و... يستخدم عاكس لتحويل (DC) الى (AC)وتغذية الأحمال بـ (AC) .

بعض أنواع العاكسات تكون متكاملة مع متحكمات الشحن ( Charge controllers) .

الغرض من استخدام هذه العاكسات هو تشغيل أكبر عدد من الأجهزة الكهربائية التي تعمل بالتيار المتردد سواء الأجهزة الكهربائية المنزلية أو الأجهزة الالكترونية الحساسة الخاصة بتكنولوجيا الاتصالات

من المتطلبات المرغوبة للعاكسات للأنظمة غير المتصلة بالشبكة :

- التيار المتردد يكون موجه جيبية بقدر الامكان بجهد وتردد مستقر
- كفاءة تحويل (conversion efficiency) جيدة جدا
- تحمل الأحمال المرتفعة نتيجة عمليات التشغيل وتيارات البداية المتتابعة
- سماحية ضد تقلبات جهد البطارية
- الوقاية ضد تيارات القصر جهة مخرج العاكس
- محتوي توافقيات منخفض
- وقاية ضد الجهود العابرة (surge voltage)
- التشغيل في اتجاهين (مثلا : يكون متاحا التحويل من( AC) إلي( DC) لكي تشحن البطاريات من مولدات AC، إن أمكن )
- إذا كان ضروريا ، أن يتكامل مع متحكم شحن .

للأنظمة الكبيرة غير المتصلة مع الشبكة ، فانه يتم اضافة المتطلبات الآتية للعاكس :

- مصدر للقدرة غير الفعالة
- منظم جهد
- متحكم للتردد
- فصل / توصيل للأحمال
- فصل / توصيل لنظام مصدر قدرة مساعد (مثلا مولد ديزل )

توجد ثلاثة أنواع من هذه العاكسات هي :

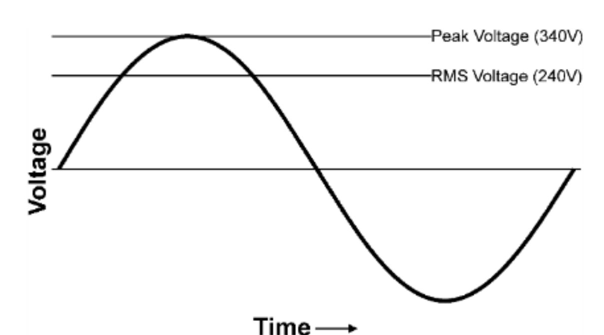
- عاكسات موجه جيبية ((Sine wave inverters (quasi-sine wave)
- عاكسات موجة جيبية معدلة (Modified sine wave inverters)
- عاكسات موجه مربعة (Square wave inverters)

موجتي الجهد والتيار الناتجة من هذه الأنواع لا تكون موجه جيبية نقية (ماعدا النوع الاول) ، ولذا يكون من المتوقع وجود توافقيات تيار خلال التشغيل العادي للنظام . يجب اختيار العاكس طبقا لطبيعة الأحمال فمثلا الاحمال المقاوم (resistive loads) يمكن ان تتوافق مع عاكسات الموجه المربعة وهي الارخص وسهلة الاستخدام . بينما المحركات والاجهزة الالكترونية الحساسة فانها تحتاج إلي عاكسات لها المقدرة علي انتاج موجه جيبية نقية للتيار والجهد حتي تعمل هذه الاحمال بكفاءة ،هذه العاكسات تكون اكثر تكلفة واكثر تعقيدا في التصميم .

وعلي ذلك يتم اختيار العاكس طبقا لنوع الحمل والقدرة المطلوبة .جميع العاكسات الحديثة تحتوي علي تطبيقات برامج حاسب آلي وشاشة مراقبة ومعدات تحكم للتشغيل .

**عاكسات الموجة الجيبية (sine wave inverters)**

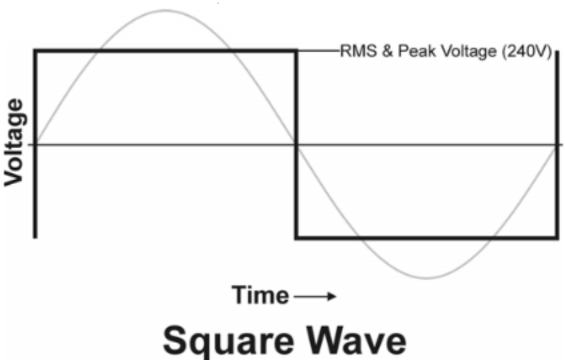
تحتاج هذه النوعية جميع المتطلبات المذكورة في البند السابق . تعمل هذه النوعية باساسيات معدل مدي النبضة (PWM) (pulse width modulation) وهو مناسب لتشغيل الاجهزة الالكترونية الحساسة . بالمقارنة بالنوع ذي الموجة المربعة ، فان سعر عاكس الموجه الجيبية اعلي نتيجة احتواءه علي دائرة اكثر تعقيدا . يتصف علي المقدرة علي زيادة الحمل لفترة قصيرة (احيانا يصل إلي اربعة امثال السعة الاسمية ) ، والتي تكون هامة خاصة لاستعمال الماكينات (ذات احمال البداية العالية). يوضح شكل ( 16) الموجة الجيبية لمخرج العاكس ، ويلاحظ اختلاف قيمة اقصى جهد ( peak voltage )عن قيمة جذر متوسط مربعات الجهد ( RMS voltage ).




شكل(١٦) الموجة الجيبية لمخرج العاكس

## **عاكسات الموجة المربعة (square-wave inverters)**

يعتبر هذا النوع الاكثر شيوعا والارخص سعرا . يتم تقطيع (؟chopped) التيار المستمر DC إلي تيار متردد AC بتردد 50Hz بخصائص مربعة ويرفع إلي 230v من خلال محول ، هو عاكس غير كفء ولا يتم التوصية باستخدامه ويمكن أن يؤدي إلي انهيار المعدات الالكترونية .يوضح شكل (17) الموجة المربعة لمخرج العاكس ويلاحظ تساوى قيمة أقصى جهد ( peak voltage ) وقيمة جذر متوسط مربعات الجهد ( RMS voltage ).




شكل (١٧) الموجة المربعة لمخرج العاكس

## عاكسات الموجه الجيبية المعدلة (modified sine wave inverters)

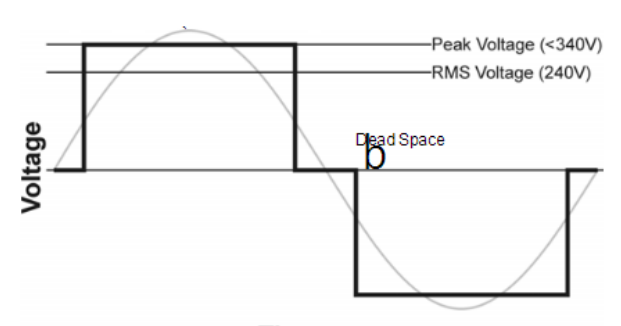
هذه العاكسات هي الأكثر شيوعا، والمقصود بالموجة الجيبية المعدلة يوضحه شكل ( 18) ويلاحظ فى الشكل اختلاف قيمة اقصى جهد ( peak voltage ) عن قيمة جذر متوسط مربعات الجهد ( RMS voltage ) وأن قيمة أقصى جهد لهذه الموجة تكون أصغر من قيمة أقصى جهد للموجة الجيبية

أنواع الأحمال التالية تتعرض لصعوبة التشغيل عند التغذية بموجة جيبية معدلة :

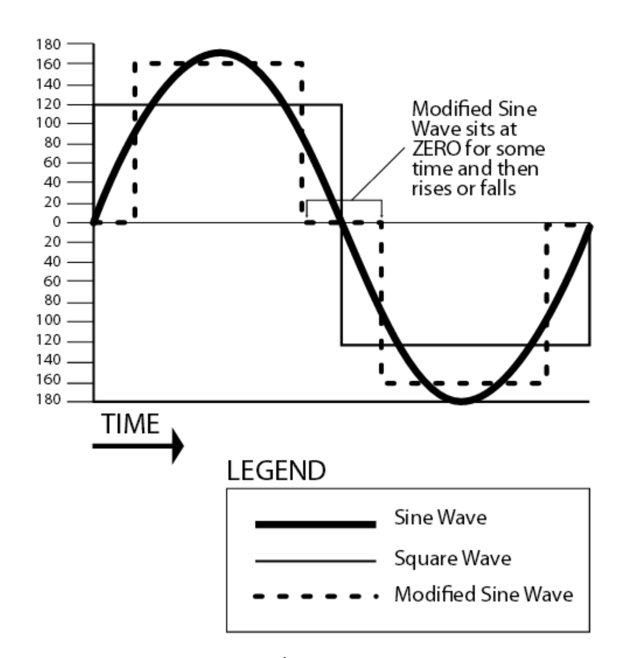
- الطابعات الليزر
- بعض أنواع اللمبات الفلورسنت
- الكمبيوترات
- جميع معدات القدرة المحتوية علي دوائر إلكترونية
- بعض أنواع شاحنات البطاريات
- بعض غسالات الملابس المحتوية علي مؤقت إلكتروني
- بعض أجهزة التليفزيون

لعاكس الموجه الجيبية المعدلة موجه قريبة الشبه من الموجة المربعة ولكن لها مرحلة زائدة . كما أن بعض الأحمال تعمل بصورة جيدة علي الرغم من انخفاض الكفاءة والقدرة . فمثلا المحركات بالثلاجات والطلمبات والمراوح تسحب قدرة مرتفعة من العاكس نتيجة انخفاض الكفاءة . وأغلب المحركات تستهلك 20% قدرة أكبر .

للأنظمة الصغيرة تكون تكاليف عاكس الموجه الجيبية المعدلة قدرة من 2kw إلي 3kw حوالي ١٢٠٠$ إلي ١٥٠٠$ بينما يكون تكلفة عاكس الموجه الجيبية اكثر ب ١٠٠٠$ يوضح شكل (١٩) مقارنة بين انواع العاكسات الثلاثة




شكل(١٨) الموجة الجيبية المعدلة لمخرج العاكس

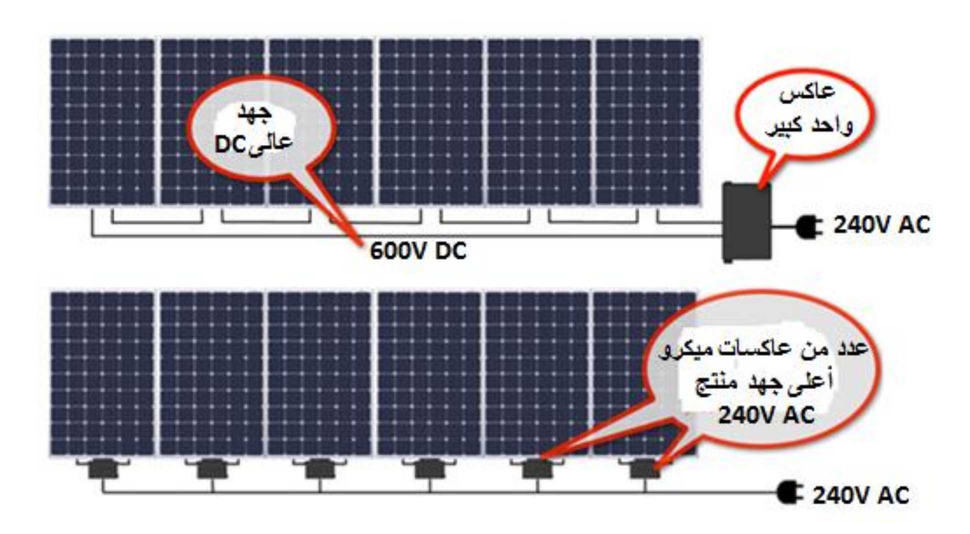



شكل(١٩) مقارنة بين أنواع العاكسات الثلاثة

## عاكس ميكرو (Micro-Inverters)

وهو عبارة عن معدة تستخدم لتحويل التيار المتردد (DC) ، المنتج بواسطة موديول فوتوفلتية واحد إلي تيار متردد (AC) . يتم تجميع مخرج عدد من عاكسات الميكرو وربطه مع شبكة الكهرباء . يختلف العاكس الميكرو عن العاكس المركزي وعاكس السلسلة حيث أنهما يكونان متصلان علي مجموعة موديولات أو خلايا في نظام الفوتوفلتية . يوضح شكل(٢٠) مكان تركيب عاكسات الميكرو على مخرج كل موديول ثم تجميع مخرجهم جميعا على قضبان توزيع 240V AC ومقارنة بعاكس واحد كبير . ويوضح شكل(٢١) أنواع من عاكسات الميكرو .

بينما يبين شكل (٢٢) مقارنة (كمثال) بين مقاس عاكس ميكرو وعاكس مركزى




شكل (٢٠) مكان تركيب عدد من عاكسات الميكرو على مخرج كل موديول ومقارنة بعاكس واحد كبير




شكل (٢١) أنواع من عاكسات الميكرو




شكل (٢٢) مقارنة (كمثال) بين مقاس عاكس ميكرو وعاكس مركزى

وهناك عدة مميزات لعاكس ميكروعن العاكس التقليدي . حيث أن الميزة الهامة تكون عند تعرض موديول أو جزء من الموديول للظلال فان الانخفاض في مخرج القدرة لا يتناسب مع كامل المصفوفة . يحصد كل عاكس ميكرو أقصي قدرة عن طريق تتبع نقطة أقصي قدرة للموديول المتصل به .

بالاضافة إلي المميزات الأخري الآتية :

- تصميم النظام بسيط جدا
- يسمح استخدام عاكسات الميكرو بإضافة موديولات أكثر بسهولة في أي وقت مستقبلا
- لا تحتاج إلي استثمارات عالية في بداية المشروع
- سهولة التوسع في نظام pv
- يمكن مراقبة أداء كل خلية مستقلة
- لها موثوقية عالية ، لأنه في حالة عطل عاكس لن يتأثر كل النظام
- الانشاءات بسيطة ومنخفضة التكاليف فالتوصيلات تكون بسيطة ولا تحتاج لمعدات جهد DC عالي ، مما يجعلها أكثر أمانا عند الانشاءات .
- عمر تشغيل أطول ، حيث يصل عمر تشغيل العاكسات الجديدة إلي ٢٥ سنة لتتوافق مع عمر الخلايا الشمسية
- علي الرغم من ارتفاع التكلفة لكل وات، ولكنها تعوض بتكاليف الانشاءات المنخفضة وبزيادة حصيلة الطاقة المنتجة

ومن عيوب عاكس ميكرو :

- نسبيا ما زالت تكنولوجيا حديثة ، مع انخفاض عدد المصنعين في هذا المجال
- أكثر تكلفة من عاكسات السلسلة
- تكلفة الاستبدال عالية لبعض أسطح المباني (تكلفة الصيانة والتشغيل )
- نقص الخبرة في هذا النوع

**االخصائص الاساسية " لعاكس ميكرو "**

AC output : pure sine wave

Warranty : 5 year

Rated power : 250 W

Performance : high η

| | |
|---|---|
| Output frequency | : 57-62 Hz |
| Input voltage | : 50 V |
| Output current | : 2.08 A |
| Output type | : single |
| Output power | : 1- 200 Kw |
| Output voltage | : 120 V |
| Weight | : 0.7 kgs |

**أداء العاكس الشمسى ( solar inverter performance)**

فيما يلي ملخص المتغيرات الفنية اللازمة لتقييم العاكس

- بيئة عمل العاكس :

الارتفاع لا يقل عن 1000 m ، درجة الحرارة المحيطة أقل من 0.0 C° ، +40 C°

- حالة DC :

مدي جهد مدخل DC ، قيم مقنن جهد البطارية : ± 15%

- مقنن جهد المخرج :

عند التيار المقنن ، يكون تقلب مقنن جهد مخرج العاكس :

❖ أحادي الطور 220V ± 5%

❖ ثلاثي الطور 380V± 5%

- مقنن تيار المخرج :

عند تردد مخرج محدد ، ومعامل قدرة الحمل ، يحدد مقنن تيار مخرج العاكس

- مقنن تردد المخرج :

عند حالة محددة ، فان تردد مخرج العاكس ذي التردد الثابت : 50Hz ± 2%

- محتوي أقصي توافقيات :

يجب أن تكون أقل من أو تساوي 5%

- مقدرة تحمل زيادة الحمل :

يجب أن يتحمل زيادة الحمل لفترة زمنية قصيرة عند معامل قدرة الحمل

- كفاءة العاكس :

عند مقنن جهد المخرج ، تيار المخرج ، ومعامل قدرة الحمل ، فانها النسبة بين القدرة الفعالة للمخرج والقدرة الفعالة للمدخل (او قدرة DC)

- معامل قدرة الحمل :

القيمة الموصي بها من ٠,٧ إلي ١,٠

- الحمل غير المتماثل:

عند 10% أحمال غير متماثلة ، فان عدم تماثل جهد المخرج لعاكس ثلاثة أطوار ذي التردد الثابت يجب أن يكون أقل من أو يساوي 10%

- عدم تماثل جهد المخرج :

في حالة التشغيل العادي ، كل حمل طور مماثل ، فان عدم متماثل جهد المخرج يجب أن يكون أقل من أو يساوي 5%

- خصائص بداية العاكس الشمسي :

في حالة التشغيل العادي ، عند الحمل الكامل ، مع عدم التشغيل عند اللا حمل ، يجب أن يكون للعاكس ٥ أضعاف قيمة البداية

- الوقاية :

الوقاية ضد دائرة القصر ، الوقاية ضد زيادة الحمل ، الوقاية ضد ارتفاع الجهد ، الوقاية ضد انخفاض الجهد ، الوقاية ضد ضياع الطور .

- التداخل وعدم التداخل :

عند حالات التشغيل العادية ، يجب أن يتحمل العاكس تداخلات كهرومغناطيسية محددة ، ويتناسق مع المواصفات القياسية لحالتي عدم التداخل ووجود الكهرومغناطيسية .

- تشويش التشغيل والمراقبة والصيانة :

نادرة الحدوث ، للعاكسات ، يجب أن تقل عن أو تساوي 95db ، بينما عند التشغيل والمراقبة والصيانة المنتظمة فيجب أن تكون أقل من أو تساوي 80db

- شاشة عرض : يجب أن يعرض العاكس :

جهد المخرج AC ، تيار المخرج ، تردد المخرج ، مع بعض المتغيرات الأخري حسب الظروف كقاعدة عامة ، ونجد أن مصممي أنظمة الفوتوفلتية المتصلة

بالشبكة (grid-tied pv) ينسقوا بحيث تنتج المصفوفات جهد تيار مستمر مرتفع (DC) . يقلل الجهد العالي مفقودات التيار الحتمية نتيجة سريان الكهرباء إلي العاكس . في كود الكهرباء (National Electrical Code) (NEC) يحدد أقصي جهد بـ 600V ، بينما في أوربا يكون بـ 1000V

الأغراض المطلوبة من العاكس :

- تحويل قدرة DC من مخرج مصفوفة PV أو من مجموعة البطاريات إلي قدرة AC
- التأكد من أن تردد المصدر 50 cycles
- تقليل تقلبات الجهد
- التأكد من أن شكل موجة التيار المتردد (AC) مناسب للتطبيقات ، فمثلا موجة جيبية نقية عند الربط مع الشبكة الكهربائية العامة . يوضح جدول (٤) قدرة وكفاءة أنواع العاكسات والتكلفة ( استرشاديا ) ويوضح جدول (٥) بعض خصائص أنواع العاكسات والمبين أنواعها بشكل (٢٣) ويبين شكل (٢٤) أنواع العاكسات وطريقة توصيلها

جدول (٤) قدرة وكفاءة وتكلفة أنواع العاكسات

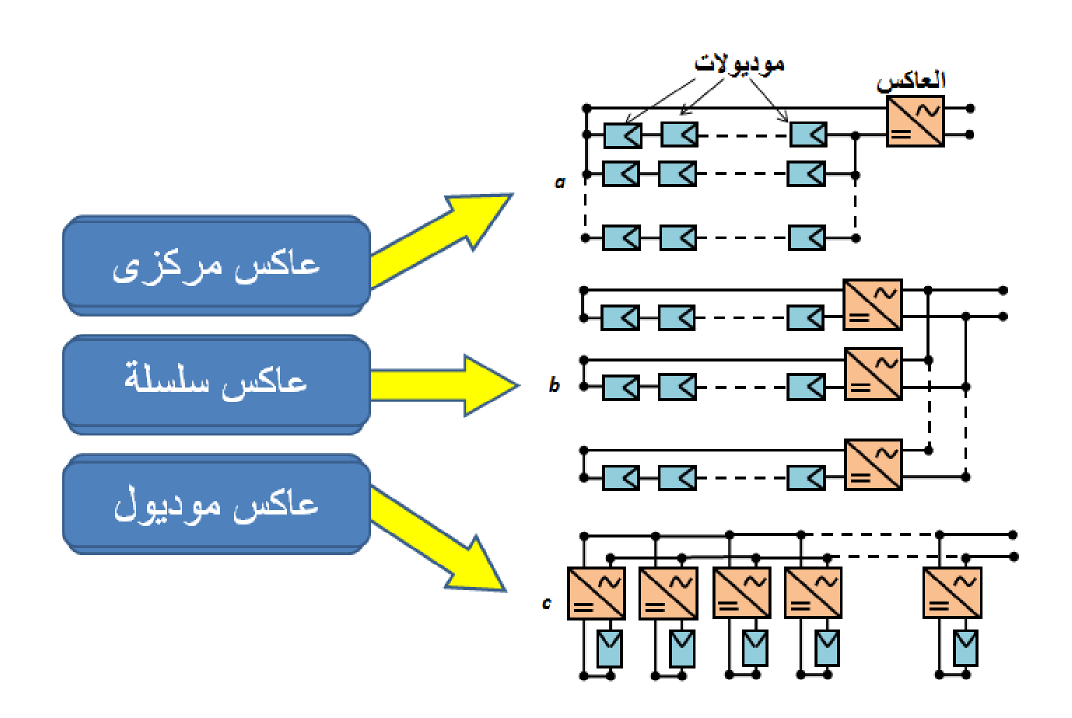
| النوع | القدرة | الكفاءة | التكلفة |
|---|---|---|---|
| عاكس سلسلة | حتي 100 KWp | 96% | €0.15/Wp |
| عاكس مركزي | أعلي من 100 KWp | 96.5% | € 0.1/Wp |
| عاكس ميكرو | طبقا لمدي قدرة الموديولات | 90-95% | € 0.4/Wp |

جدول (٦) بعض خصائص أنواع العاكسات

| الخاصية | عاكسات السلسلة String inverters | عاكسات مركزية صغيرة Min central inverters | عاكسات مركزية Central inverters |
|---|---|---|---|
| القدرة | 1-10 KW | 10-30 KW | 30-1200kw |
| عدد نقط اقصي قدرة | 1-3 MPPT | العديد من MPPT | 1 MPPT |
| الكفاءة | 96-98% | > 97% | > 97% |
| عدد الطور(phase) | أحادي الطور / ثلاثي الطور | ثلاثي الطور | ثلاثي الطور للجهود حتي 30 KV |




شكل (٢٣) بعض أنواع العاكسات




شكل (٢٤) أنواع العاكسات وطريقة توصيلها

## مقاس العاكس (Inverter sizing)

يعتمد مقاس العاكس علي :

- أقصي كمية قدرة DC ويعبر عنها بالوات ، وعندها يتم تصميم العاكس لتحويلها الى AC
- أقصي جهد مدخل ، وهو أقصي جهد يجب أن يجهزه العاكس قبل حدوث انهيار للمكونات الإلكترونية
- جهد بداية التشغيل (Start –up voltage) (أو initial input voltage) وهو أقل قيمة جهد تنتجة خلايا pv يكفي لبداية عمل العاكس
- مدي جهد أقصي نقطة قدرة (MPP) وهو مدي الجهد الذي يعمل فيه العاكس بأقصي كفاءة .

الكثير من أنظمة PV في المملكة المتحدة تستخدم قدرة العاكس أقل من قدرة المصفوفة ، فمثلا لمصفوفة 3KWp يستخدم عاكس قدرته بين 2.4 KW و 3.3 KW وسبب ذلك أن الخلايا لن تنتج هذه القدرة عند الكفاءة المقننة لها لفترة زمنية طويلة ، مع التأكيد علي وصول الخلايا إلي مدي جهد أقصي نقطة قدرة وإلي جهد بداية التشغيل .

يعتبر إختيار العاكس نقطة حرجة عند تصميم النظام .

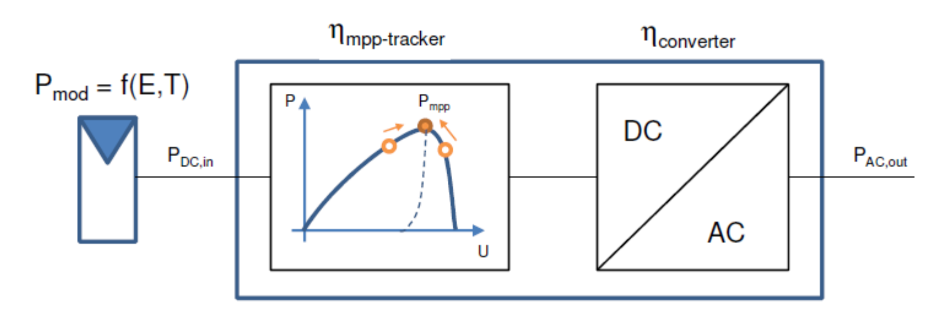
الإختيار الخاطئ لمقاس العاكس يمكن أن يؤدي إلي مفقودات طاقة واضحة أو حدوث أعطال بالعاكس .

من المتغيرات الهامة للعاكس :

- مدي نقطة أقصي قدرة (MPP)
- أقصي جهد مدخل
- أقصي تيار مستمر (DC)
- مخرج القدرة الإسمي (AC)

## كفاءة العاكس (Inverter efficiency )

لعاكسات pv الحديثة كفاءة تحويل من DC إلي AC تكون أكبر من 90% وذلك خلال مدي قدرة واسع (حتي جزء صغير من الأحمال). يوضح شكل (٢٥) تمثيل لقدرة مدخل وقدرة مخرج العاكس ، ويتم الحصول علي كفاءة العاكس من المعادلة رقم (١)




شكل (٢٥) تمثيل لقدرة مدخل وقدرة مخرج العاكس

$$\eta_{inv} = \frac{P_{AC_out}}{P_{DC,in}} = \eta_{mmpt} \times \eta_{converter} \quad \text{------ (١)}$$

في العاكسات توجد ثلاثة أنواع من المفقودات :

- مفقودات الدائرة المفتوحة ( تكون ثابتة )
- مفقودات هبوط الجهد ( تتناسب مع الحمل )
- مفقودات المقاومة ( تتناسب مع مربع التيار )

لوفرضنا على وجه التقريب ثبات الجهد، فإن تيار العاكس يتناسب مع قدرة DC . وفي هذه الحالة نجد أن المفقودات تكون بدلالة قدرة DC والتي تحسب من المعادلة الآتية

$$PL\ (PDC) = C_0 + C_1\ PDC + C_2 P^2 DC \quad \text{------- (2)}$$

حيث

(DC power) DC قدرة = PDC

(Power Losses) مفقودات القدرة = PL

($V_{DC}$) معاملات ثابتة عند مدخل جهد معين = $C_o$, $C_1$, $C_2$

(Constant coefficient for certain DC input voltage $V_{DC}$)

وتحسب كفاءة العاكس من المعادلة التالية

$$\eta = 1 - \frac{PL}{PDC} \quad \text{---------- (3)}$$

نحصل علي PL من المعادلة (2)

في أوربا الكفاءة ($\eta_{Euro}$ Euro efficiency) عبارة عن متغيرات موزونة طبقا لمناخ أوربا ، وتحسب عند حالات حمل مختلفة طبقا للمناخ ، وذلك تبعا للمعادلة الاتية :

$$\eta_{Euro} = 0.03\ \eta_{5\%} + 0.06\ \eta_{10\%} + 0.13\ \eta_{20\%} + 0.1\ \eta_{30\%} + 0.48\ \eta_{50\%} + 0.2\ \eta_{100\%}$$

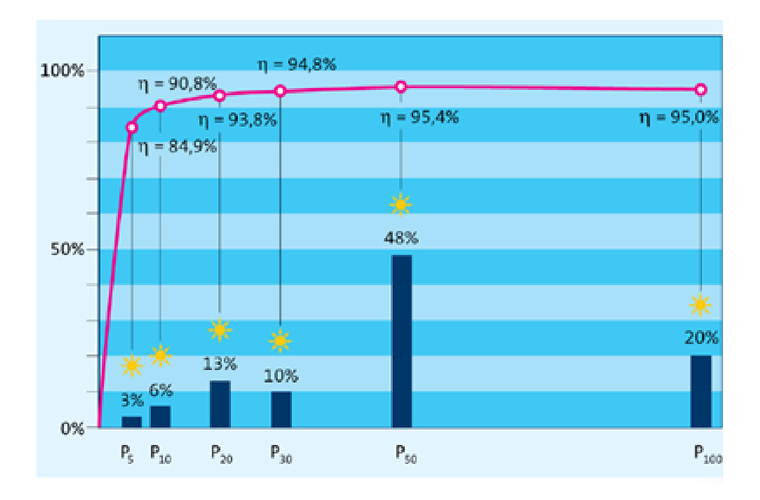
حيث

$\eta_{5\%}$ = كفاءة العاكس عند حمل 5%

$\eta_{10\%}$ =كفاءة العاكس عند حمل 10%وهكذا

$\eta_{n\%}$ =كفاءة العاكس عند حمل n% من القدرة الاسمية

يوضح شكل (٢٦) منحنى كفاءة العاكس (Euro efficiency)




شكل (٢٦) منحنى كفاءة العاكس (Euro efficiency)

بينما الكفاءة طبقا لمفوضية الطاقة بكاليفورنيا ( California Energy Commission (CEC) تكون تبعا للمعادلة الاتية :

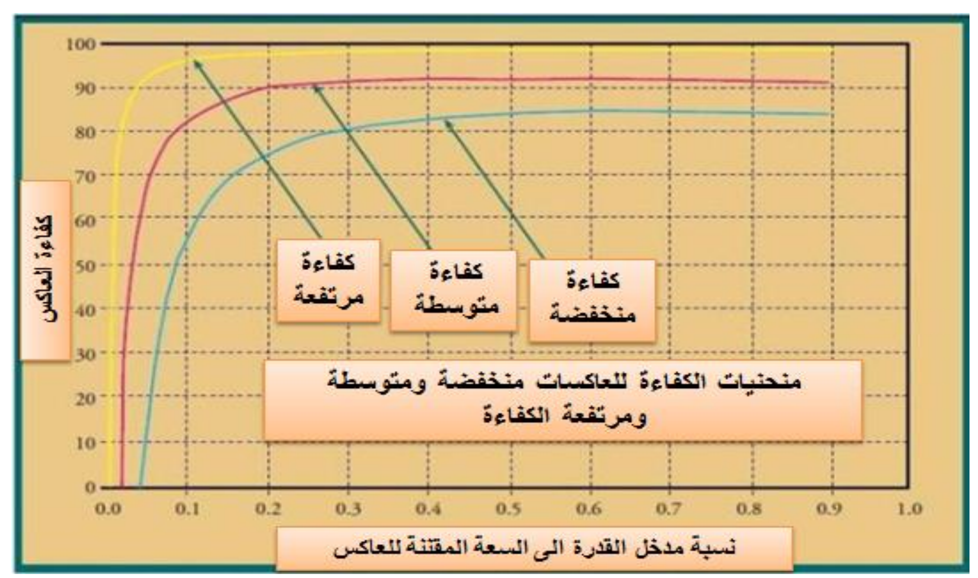
$$\eta_{CEC} = 0.04\ \eta_{10\%} + 0.05\ \eta_{20\%} + 0.12\ \eta_{30\%} + 0.21\ \eta_{50\%} + 0.53\ \eta_{75\%} + 0.05\ \eta_{100\%}$$

$\eta_{n\%}$ = كفاءة العاكس عند n% من القدرة الاسمية

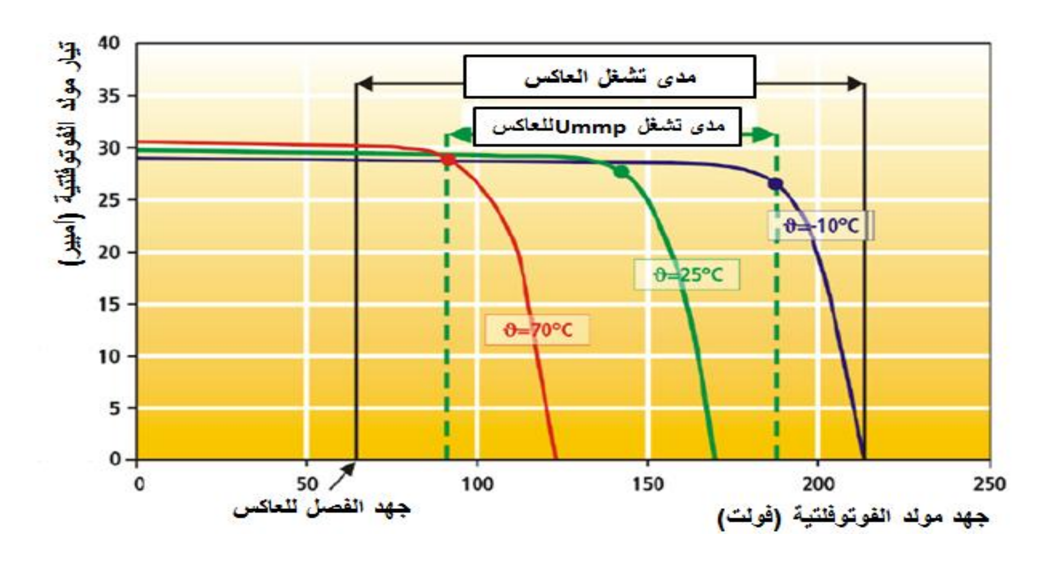
يوضح شكل (٢٧) منحنيات الكفاءة للعاكسات منخفضة ومتوسطة ومرتفعة الكفاءة بدلالة نسبة مدخل القدرة الى السعة المقننة للعاكس

ويوضح شكل (٢٨) العلاقة بين جهد وتيار مولد الفوتوفلتية عند درجات الحرارة المختلفة موضحا علية مدى جهد تشغيل العاكس ومدى **Ummp** للعاكس ، ويجب مراعاة الاتى :

- التوافق بعناية بين جهد كل من العاكس ومولد الفوتوفلتية
- مراعاة درجات الحرارة الشديدة على جهد مولد الفوتوفلتية




شكل (٢٧) منحنيات الكفاءة للعاكسات منخفضة ومتوسطة ومرتفعة الكفاءة بدلالة نسبة مدخل القدرة الى السعة المقننة للعاكس




شكل (٢٨) العلاقة بين جهد وتيار مولد الفوتوفلتية عند درجات الحرارة المختلفة

**مثال لخصائص عاكس**

- Nominal DC Power : 3750 W
- Operating MPP input voltage range : 90 V to 580V (380 V nominal )
- Full power MPP range : 190 V to 580 V
- Max input voltage : 600 V
- Activation voltage : 200 V nominal (adjust from 120v to 350v)
- Max DC current : 18 A / 20 $A_{sc}$
- Nominal AC power : 3600 W
- Nominal AC voltage : 230 V
- Continuous AC output current : 17.2 A
- Max .output O.C protection : 25 A
- Max. efficiency : 96.8%

# الباب السادس
# معايير إختيار موديولات الفوتوفلتية
# The selection criteria for photovoltaic modules

**اختيار موديول pv :**

من العناصر الهامة لتحديد متطلبات المحطة الشمسية الاختيار السليم لموديولات pv باستخدام قاعدة الاختبار والاختيار (Rule of thumb) فإنه يلزم ١٠ متر مربع مساحة خلايا فوتوفلتية (pv) لإنتاج 1kwp (واحد ك.و قصوي ) طاقة شمسية وذلك عند استخدام سيليكون بلوري وللحصول علي مساحة أكثر دقة يستخدم جدول (١) والذي يعتمد علي أنواع تكنولوجيا pv حيث تركب الخلايا الشمسية علي الأسطح مع مراعاة الميل المطلوب للخلايا .

جدول (١) حدود المساحة المطلوبة لخلايا pv للحصول علي 1KWp

| نوع الخلايا الشمسية | حدود المساحة المطلوبة (مترمربع) |
|---|---|
| سليكون أحادي البلوري (monocrystalline silicon) | 7-9 |
| سيليكون متعدد البلوري (polycrystalline silicon) | 8-11 |
| نحاس أنديوم ديسلنايد ( copper indium diselenide(CIS)) | 11-13 |
| كادميوم تليرايد ((cadmium Telluride (CdTe)) | 14-18 |
| سيليكون غير بلوري (Amorphous silicon) | 16-20 |

في حالة تركيب الموديولات علي سطح أفقي أو بزاوية ميل أقل من زاوية خط العرض مع عدم تعرض الخلايا لظلال ذاتية بينهم ، عندئذ يلزم حوالي ٢٠ متر مربع مساحة pv لإنتاج 1 KWp (واحد ك.و قصوي ) طاقة شمسية وذلك عند استخدام سيليكون بلوري . وللحصول علي مساحة أكثر دقة يستخدم جدول (٢)

**المتغيرات الكهربائية المطلوبة لموديولات pv :**

يوضح جدول (٣) المتغيرات الكهربائية المطلوبة والرمز المختصر لكل خاصية

جدول (٢) المساحة المطلوبة لانتاج 1KWp لموديولات علي سطح أفقي

| نوع الخلايا الشمسية | المساحة المطلوبة (مترمربع) |
|---|---|
| سيليكون أحادي البلوري (monocrystalline silicon) | ٢٠ |
| سيليكون متعدد البلوري (polycrystalline silicon) | ٢٧ |
| نحاس أنديوم ديسلنايد (CIS) (copper indium Diselenide) | ٣٢ |
| كادميوم تليرايد (CdTe) (cadmium Telluride) | ٤٠ |

جدول (٣) المتغيرات الكهربائية المطلوبة والرمز المختصر لكل خاصية

| المتغير | الوحدة | الرمز |
|---|---|---|
| معامل درجة الحرارة لتيار دائرة القصر (short circuit current temp.coefficient) | m A / C° | $\alpha I_{MOD.SC}$ |
| معامل درجة الحرارة لجهد الدائرة المفتوحة (open circuit voltage temp. coefficient) | m V / C° | $\beta V_{MOD.OC}$ |

| $I_{MOD.M.STC}$ | A | تيار نقطة أقصي قدرة عند حالة الاختبار القياسية (current at MPP at STC) |
|---|---|---|
| $I_{MOD.SC.STC}$ | A | تيار دائرة القصر عند حالة الاختبار القياسية (short circuit current at STC ) |
| $N_{.CP}$ | - | عدد الخلايا المتصلة علي التوازي (parallel connected cells) |
| $N_{.CS}$ | - | عدد الخلايا المتصلة علي التوالي (Series connected cells ) |
| $P_{MOD.M.STC}$ | Wp | أقصي قدرة عند حالة الاختبار القياسية (max.power at STC) |
| NOTC | C° | درجة الحرارة الاسمية لتشغيل الخلية (Nominal operation cell temp ) |
| $V_{MOD.M.STC}$ | V | جهد نقطة أقصي قدرة عند حالة الاختبار القياسية (voltage at the MPP at STC ) |
| $V_{MOD.OC.STC}$ | V | جهد الدائرة المفتوحة عند حالة الاختبار القياسية (open circuit voltage at STC ) |

**حجم القدرة الإسمية لمولد pv :**

يعتمد التخطيط لتحديد القدرة الإسمية لمولد pv (اي مجموع أقصي قدرة عند حالة الاختبار القياسية ، للموديولات المستخدمة ) علي عاملين هما :

- المساحة المتاحة

يجب الاسترشاد بالجدولين (١) ، (٢)

- تكاليف انشاء المحطة

يتكون مولد pv من ترتيبه من مجموعة موديولات متصلة علي التوالي في شكل سلسلة (string ) ، وعدد من سلاسل الموديولات متصلة علي التوازي ، بناء علي ذلك فان جهد مولد pv يساوي جهد سلسلة موديول واحدة بينما تيار المولد يساوي مجموع تيارات السلاسل المتصلة علي التوازي .

**تحديد عدد الموديولات لمولد pv :**

طبقا لقدرة مولد pv وقدرة الموديول المستخدم نحصل علي عدد الموديولات كالآتي

| عدد الموديولات (N)= | القدرة الاسمية للمولد عند SCT (بوحدة W) |
| --- | --- |
| | القدرة الاسمية للموديول عند SCT (بوحدة W) |

يعتمد عدد الموديولات المتصلة علي التوالي بالسلسلة ( $N_{ms}$ ) وعدد السلاسل المتصلة علي التوازي( $N_{mp}$) علي :

- خصائص الموديول
- مدي جهد عاكس تتبع نقطة أقصي قدرة (MPP) ، مع مراعاة ألا يتعدي أقصي جهد مدخل للعاكس .

وليس من الضروري دائما أن يكون

$$N = N_{ms} . N_{mp}$$

مع مراعاة الآتي :

- يجب إختيار $N_{ms}$ بحيث يكون مجموع الجهود عند MPP لجميع الموديولات في السلسلة يقع في مدي جهد موضع نقطة أقصي قدرة للعاكس علي منحني V-I للمولد .

ويحقق العدد $N_{ms}$ عدم تعدي جهد مدخل العاكس على أقصي جهد يمكن أن تتحمله المعدات .

- يجب توصيل بعض السلاسل علي التوازي $N_{mp}$ حتي يتم تحقيق القدرة الاسمية المطلوبة لمولد PV . بحيث يكون عدد $N_{mp}$ لا يتعدي التيار المغذي للعاكس أقصي مقنن تيار له .

**<u>أقصي عدد موديولات متصلة علي التوالي</u>**

يؤدي انخفاض درجة الحرارة إلي زيادة جهد الدائرة المفتوحة لمولد PV ، لذا فان أخطر وضع يمكن حدوثه في يوم شتوي بارد عندما يكون العاكس مفصول (نتيجة حدوث انهيار وفصل للشبكة العمومية ، مثلا ) . يظهر جهد عالي عند مدخل العاكس والذي يمكن أن يكون شديد الخطورة إذا تعدي هذا الجهد اقصي جهد يتحمله العاكس . وللحماية ، فان المعيار الشائع يفرض أن درجة حرارة الخلية ( $T_C$ يمكن ان تنخفض إلي 10 C° – ، في هذه الحالة،فان أقصي عدد موديولات متصلة علي التوالي والتي تغذي العاكس تكون :

$$\max (N_{ms}) = \frac{\text{أقصي جهد للعاكس}}{\text{جهد الدائرة المفتوحة للموديول عند } T_C = -10c°}$$

ولكن لوحة بيان الموديول وأيضا الكتالوجات لا تحتوي علي جهد الدائرة المفتوحة للموديول عند -10 C° ، ولكن تحتوي البيانات علي معامل درجة الحرارة لجهد الدائرة المفتوحة (open circuit temperature coefficient) والتي يعبر عنها بوحدة(mV/ C° ) . ومع الأخذ في الاعتبار هذا المعامل فانه يمكن استخدام المعادلة التقريبية الآتية :

جهد الدائرة المفتوحة للموديول عند ( $T_C$ = - 10 C° ) ≅ 1.14 (جهد الدائرة المفتوحة للموديول عند STC)

**أقل عدد موديولات متصلة علي التوالي**

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلي انخفاض كل من : جهد الدائرة المفتوحة وجهد نقطة اقصى قدرة (MPP) لمولد الفوتوفلتية . إذا وصل هذا الانخفاض في الجهد إلي قيمة أقل من "أقل جهد" والذي عنده يتتبع العاكس النقطة (MPP) . هذا الجهاز لا يعطي أقصي قدرة لمولد الفوتوفلتية وعندئذ يتم الفصل . بفرض المقياس أو المعيار الشائع أن درجة حرارة الخلية يمكن أن ترتفع إلي حوالي 70C° ، للتغلب علي هذه الحالة يجب مراعاة أقل عدد من الموديولات التي توصل علي التوالي وتحسب من المعادلة الآتيه :

$$\min(N_{\mathrm{ms}}) = \left| \frac{\text{أقل جهد عنده العاكس يتبع النقطة MPP لمولد الفوتوفلتية}}{\text{جهد الموديول عند النقطة MPP (عند } T_C = 70c^\circ)} \right| + 1$$

يمكن استخدام المعادلة التقريبية الآتيه لخلايا السيليكون الأحادي والمتعدد البلوري:

جهد الموديول عند النقطة MPP (عند $T_C$= 70c° ) ≅ 0.82 * (جهد الموديول عند النقطة MPP وعند STC)

**عدد الموديولات المتصلة علي التوازي :**

بعد تحديد عدد الموديولات المتصلة علي التوالي ، يتم تحدد عدد الموديولات المتصلة علي التوازي من المعادلة التالية :

$$N_{\mathrm{mp}} = Int \left| \frac{N}{N_{\mathrm{ms}}} \right|$$

حيث

$N_{\mathrm{mp}}$ = عدد سلسلة الموديولات المتصلة علي التوازي

(string) عدد الموديولات المتصلة على التوالي بالسلسلة = $N_{\text{ms}}$

إجمالي عدد الموديولات بالمحطة الفوتوفلتية = N

**معايير اختيار تيار الموديولات الفوتوفلتية**

تحتوى لوحة بيان (datasheet) على بيانات معايير الاختيار الآتية : المديول

1- سماحية القدرة المنتجة من الموديول
(Production power tolerance)
2- ضمان الموديولات (Warranty)
3- شهادات تصديق الموديولات (Certifications)
4 - درجة الحرارة المتوسطة للتشغيل (NOCT)
(Nominal Operating Cell Temperature)
5 - المعاملات الحرارية للموديول
(solar panel temperature coefficients)

فيما يلى تعريف كل معيار :

**أولا : سماحية القدرة المنتجة من الموديول**

من المعلوم أن لكل موديول قدرة انتاجية محددة ، فمثلا إذا كانت القدرة ٢٤٥ وات ، فهل هذا يعني أن قدرة كل الموديولات التى أنتجها خط الانتاج الموجود بالشركة المنتجة يكون له قدرة كهربية متطابقة تماما مع القدرة ٢٤٥ وات ؟ بالطبع لا، فقد تكون طاقتها الانتاجية أكبر قليلا أو أقل قليلا من القيمة المسجلة على لوحة البيان وهنا يأتي مفهوم السماحية (tolerance) . فمثلا لموديول قدرته ٢٤٥ وات والسماحية +/- ٥ وات فهذا يعني أن قيمته الانتاجية تتروح بين ٢٤٠ الي ٢٥٠وات وهناك شركات لا تعطي سماحية بالقيمة السالبة مما يعني أنها تضمن أن قيمة القدرة لا تقل عن القدرة الاسمية بل إنها قد تزيد.ولذا يتم التأكيد من حدود سماحية قدرة الموديول من لوحة البيان (solar panel datasheet)
يوضح شكل (١) لوحة بيان موديول ١٧٠ وات موضحا عليها معيار سماحية القدرة +/- ٣% .ويوضح شكل (٢) لوحة بيان موديول ٢٥٠ وات بسماحية قدرة +٥ وات.

| | |
|---|---|
| Maximum output ($P_{max}$) | 170 W |
| Tolerance of the power (+/-) | 3 % ← سماحية القدرة |
| Maximum power voltage ($V_{mp}$) | 35.2 V |
| Maximum power current ($I_{mp}$) | 4.83 A |
| Open-circuit voltage ($V_{oc}$) | 43.8 V |
| Short-circuit current ($I_{sc}$) | 5.14 A |
| Temperature coefficient ($P_{max}$) | -0.5 %/°C |
| Temperature coefficient ($V_{oc}$) | -0.155 V/°C |
| Temperature coefficient ($I_{sc}$) | 3 mA/°C |
| Maximum series fuse rating | 15 A |
| Maximum system voltage | 600 V |

شكل (١) لوحة بيان موديول ١٧٠ وات موضحا عليها معيار سماحية القدرة +/- ٣%

**ELECTRICAL PERFORMANCE**

| Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Module type | | | YLxxxP-29b (xxx=$P_{max}$) | | | | |
| Power output | $P_{max}$ | W | 260 | 255 | 250 | 245 | 240 |
| Power output tolerances | $\Delta P_{max}$ | W | 0 / +5 ← سماحية القدرة | | | | |
| Module efficiency | $\eta_m$ | % | 16.0 | 15.7 | 15.4 | 15.1 | 14.8 |
| Voltage at $P_{max}$ | $V_{mpp}$ | V | 30.3 | 30.0 | 29.8 | 29.6 | 29.3 |
| Current at $P_{max}$ | $I_{mpp}$ | A | 8.59 | 8.49 | 8.39 | 8.28 | 8.18 |
| Open-circuit voltage | $V_{oc}$ | V | 37.7 | 37.7 | 37.6 | 37.5 | 37.5 |
| Short-circuit current | $I_{sc}$ | A | 9.09 | 9.01 | 8.92 | 8.83 | 8.75 |

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.3% at 200W/m² according to EN 60904-1.

| Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Power output | $P_{max}$ | W | 189.7 | 186.0 | 182.4 | 178.7 | 175.1 |
| Voltage at $P_{max}$ | $V_{mpp}$ | V | 27.6 | 27.4 | 27.2 | 27.0 | 26.8 |
| Current at $P_{max}$ | $I_{mpp}$ | A | 6.87 | 6.79 | 6.71 | 6.62 | 6.54 |
| Open-circuit voltage | $V_{oc}$ | V | 34.8 | 34.8 | 34.7 | 34.6 | 34.6 |
| Short-circuit current | $I_{sc}$ | A | 7.35 | 7.28 | 7.21 | 7.14 | 7.07 |

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

**الموديول الذى قدرته ٢٥٠ وات وسماحيتة + ٥% يعني أن قيمته الإنتاجية تتراوح بين ٢٥٠ وات الي ٢٦٢,٥ وات**

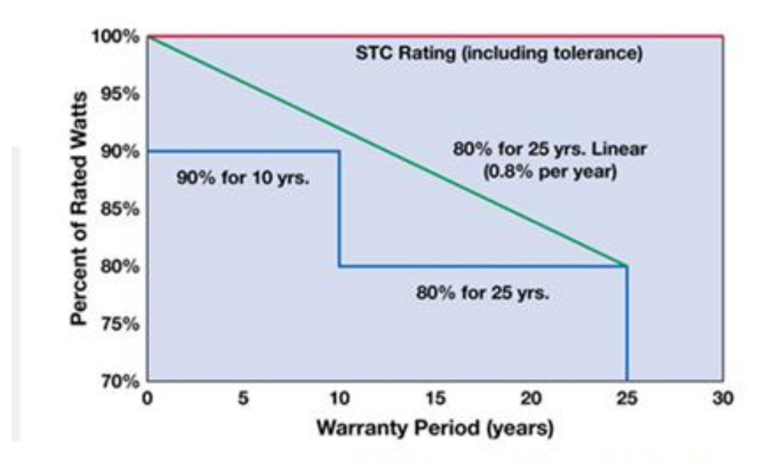
شكل (٢) لوحة بيان موديول ٢٥٠ وات موضحا عليها معيار سماحية القدرة

## ثانيا: ضمان الألواح الشمسية (Warranty)

هذا المعيار يصف جودة الألواح الشمسية وعدد سنوات الضمان التي سوف يتم تغطيتها للصناعة والأداء.
معظم الشركات المصنعة تقدم ضمان ١٠ سنوات علي عيوب الصناعة وضمان ٢٥ سنة لأداء الموديول .
يجب ملاحظة كلمة (Linear) فماذا تعنى ؟
فى حالة وجود موديولين بيان الضمان كالاتى :
١- تنص صيغة الضمان الخاصة بالمديول الأول على : ضمان ١٠ سنوات ضد عيوب الصناعة وضمان انتاج طاقة بنسبة ٩٠% للسنوات العشر الأولي وضمان انتاج الطاقة بنسبة ٨٠% لمدة ٢٥ سنة من العمر الأفتراضي للموديول .
٢- تنص صيغة الضمان الخاصة بالموديول الثانى على : ضمان منتج لمدة ١٠ سنوات و ضمان أداء خطي ٩٠% للسنوات العشر الأولي ونسبة ٨٠% لمدة ٢٥ عاما.
ما هو الاختلاف بين الموديولين من حيث الضمان ؟
الشركة المصنعة للمديول الأول تضمن أنها ستقوم بتغيير الموديول في حالة عيب الصناعة ( نفس ضمان أي منتج ) كما أنها تضمن ، إذا تم اختبارالموديول بعد ١٠ سنوات من التشغيل ( أو التسليم ) فلن ينخفض الأداء أكثر من ١٠% وإذا تم قياسه بعد ٢٥ سنة فلن ينخفض الأداء أكثر من ٢٠%
وهذا الضمان يعني أنه من الممكن أن تقل كفاءة مخرج الموديول الي ٩٠% في السنة الأولي ويظل يعمل لمدة ٩ سنوات بـ ٩٠% من الطاقة الأسمية التي تم التعاقد عليها. وهذا التدهور المبكر شائع جدا. ثم في السنة العاشرة يمكن أن تقل كفاءة مخرج الموديول إلي
٨٠ %
أما الشركة المصنعة للموديول الثاني فأنها تقدم ضمان آداء خطي (Linear) وهذا يعني أن إنتاج الطاقة الشمسية من الموديول سوف تقل بنسبة لا تتعدي ١% سنويا ومن ثم سوف تزداد الاستفادة وسوف تعمل بصورة أكثر كفاءة وتنتج المزيد من الطاقة لمدة ٢٥ عاما.

ونظرا لظاهرة التدهور المبكر الشائعة فإن بعض الشركات المصنعة تضمن الآداء للسنة الأولي مثلا تنص على : أن انتاج الطاقة سوف لا تقل أكثر من ٣ - ٥% لمدة سنة واحدة من تاريخ التسليم.


يوضح شكل (٣) نموذج لبيان ضمان موديول




- **الخط المائل يشير الى :أن نسبة أنخفاض القدرة السنوى ٠,٨ %**
- **خط المراحل يشير الى : ضمان أن القدرة ٩٠ % خلال ١٠ سنوات**

شكل (٣) نموذج لبيان ضمان موديول

## ثالثا : شهادات تصديق الموديول (Certifications)

يجب التأكد من صحة شهادات تصديق المواصفات القياسية العالمية أرقام IEC 61215 و IEC 61730 المذكورين بلوحة بيانات الموديول والشركات المصنعة ولذا يجب طلب شهادات التصديق من المورد . كذلك يجب التأكد من أن وحدات الموديول معتمدة طبقا لأحدث اصدارات مقبولة لهذه المعايير.

**المواصفات IEC 61215** تصف متطلبات الجودة لموديولات الطاقة الشمسية والاختبارات التي يجب اجراءها من أجل تحديد الخصائص الميكانيكية والكهربية التي ترد في كتالوج المنتج وهي ضرورية لظروف تشغيله .

**أما المواصفات IEC 61730** فهي تعرف متطلبات السلامة وتتكون من جزأين. يحدد الجزء الأول مدي مطابقة الموديولات لمتطلبات السلامة العامة مثل المسافة بين الأجزاء الموصلة إلي الاطار وغيرها والجزء الثاني يصف الاختبارات الخاصة بالمديولات .

يجب أن يكون للموديول موافقة من الدرجة الأولي (Class A) طبقا للمواصفات القياسية IEC 61730 لتطبيق معيار الوصول غير المحدود (unlimited access) والجهد الخطر (hazardous Voltage) والنظم ذات المخرجات الخطرة (hazardous) (output والجهد الأعلي من ١٢٠ فولت تيار مستمر.
يوضح شكل (٤) نموذجين لشهادات تصديق موديول












شكل (٤) نموذجان لشهادات تصديق موديول

**<u>رابعا: درجة الحرارة المتوسطة للتشغيل</u>**

**NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)**

تكون القيم الكهربائية الاسمية المسجلة في لوحة بيان الموديول عند ٢٥ درجة مئوية.ولكن عند التشغيل في الموقع فإن الموديولات سوف تعمل عند درجات حرارة أعلي كثيرا ، لذا ينبغي قياس الآداء في ظروف مختلفة عن ظروف

الأختبار القياسية وقياس درجة الحرارة التي سيصل إليها الموديول في وضع الدائرة المفتوحة.

فإذا كانت NOCT في حدود (٣٠ - ٤٠ درجة مئوية ) فان الموديول سيكون أكثر استقرارا وأكثر كفاءة عند استخدامة بالمناطق ذات الحرارة المعتدلة أغلب الوقت . بينما المديولات الدارجة تحت قيم ٤٨ - ٤٧ درجة مئوية (NOCT) هي أكثر كفاءة من الموديولات ذات قيم أعلي من ٥٥ درجة مئوية والتي قد تكون الأسوأ إلا إذا كانت تعمل في أجواء صحراوية حارة مثلا.

يوضح شكل (٥) جزء من لوحة بيان توضح حدود درجة الحرارة المتوسطة لتشغيل موديول

يوضح شكل (٢) مثال لوحة بيان تحتوى على المتغيرات الكهربائية عند درجات الحرارة المتوسطة لتشغيل موديولات قدرات مختلفة .

**Temperature Characteristics**

| Nominal Operating Cell Temperature (**NOCT**) | 45±2°C |
|---|---|
| Temperature Coefficient of Pmax | -0.45 %/°C |
| Temperature Coefficient of Voc | -0.34 %/°C |
| Temperature Coefficient of Isc | 0.050 %/°C |

درجة الحرارة المتوسطة للتشغيل

المعاملات الحرارية

شكل (٥) جزء من لوحة بيان توضح حدود درجة الحرارة المتوسطة لتشغيل موديول

## خامسا : المعاملات الحرارية لموديولات الطاقة الشمسية

## (Solar panel temperature coefficients)

تنص لوحة بيانات الموديول على المعاملات الحرارية للمتغيرات الكهربائية .

هذا المعامل يحدد نسبة الانحراف في قيم خصائص ( متغيرات) موديول الطاقة الشمسية الكهروضوئية مثل الجهد والتيار والقدرة الكهربية وذلك عند زيادة درجة

الحرارة.
ويلاحظ أن المعاملات الخاصة بالجهد والقدرة تكون ذات قيم سالبة مما يعني أن جهد الموديول والقدرة المنتجة منه ينخفضان بارتفاع درجة حرارة الموديول ، بينما يلاحظ أن معامل التيار موجب، أي أن التيار الناتج يزداد مع ارتفاع درجة الحرارة.
ويعتبر المعامل الأكثر أهمية هو المعامل المسبب في انخفاض القدرة عند زيادة درجة الحرارة ، لذلك يجب تحديد الانخفاض فى القدرة عندما ترتفع درجة حرارة الخلية الشمسية (الموديول) لأعلى من ٢٥ درجة مئوية.
فمثلا:
لو كان معامل درجة الحرارة لأقصى قدرة (Pm) للموديول ٠,٤٨% فهذا يعني أن القدرة القصوي تنخفض بنسبة ٠,٤٨ في المائة لكل درجة تزيد عن ٢٥ درجة مئوية. ففي الصيف مثلا قد تكون درجة حرارة المديول في فترات الظهيرة ٤٥ درجة مئوية وفي هذه الحالة فإن كمية الطاقة الكهربية المنتجة ستنخفض بنسبة يمكن حسابها كالآتي:
٤٥ (درجة الحرارة الفعلية الآن مثلا) - ٢٥ (درجة الحرارة القياسية ) = ٢٠ درجة مئوية زيادة عن درجة الحرارة القياسية
ثم يتم ضرب هذه الدرجات الزائدة في معامل درجة الحرارة أى
٢٠ * ٠,٤٨ = ٩,٦ ( تقريبا = ١٠ )
أي أن القدرة المنتجة في هذه الحالة ستنخفض بنسبة ١٠%
وعلي العكس فمثلا لو كنا في فصل الخريف أو الربيع او حتي الشتاء وكانت درجة حرارة الموديول أقل من ٢٥ درجة مئوية فان كمية الكهرباء المنتجة ستزيد في الواقع أعلي من الحد الأقصي لمستوي تصنيفها.
لذلك يجب ان يكون اختيار الموديولات ذات معامل درجة الحرارة المنخفض قدر الامكان.
ويتراوح معامل الحرارة للموديولات الشائعة بين ٠,٤٥ و ٠,٥ % . ويكون الموديول ذو معامل حرارة ٠,٤% أو أقل هو الأفضل وخاصة في البلاد ذات درجات الحرارة المرتفعة . هذا المعامل هو أحد أهم العوامل التي يجب أن توخذ في الاعتبار أثناء الفحص الفنى للموديولات .
ويوضح شكل (٥) نموذج للمعاملات الحرارية لموديول الفوتوفلتية

## اسباب أعطال الموديولات Causes malfunction Modules

في دراسة تمت بمعرفة (NREL) تم حصر الأعطال ونسبتها التي تعرضت لها الموديولات ومكوناتها ، يوضح جدول (٤) هذا الحصر

جدول ( ٤ ) أسباب أعطال الموديولات ونسبتها

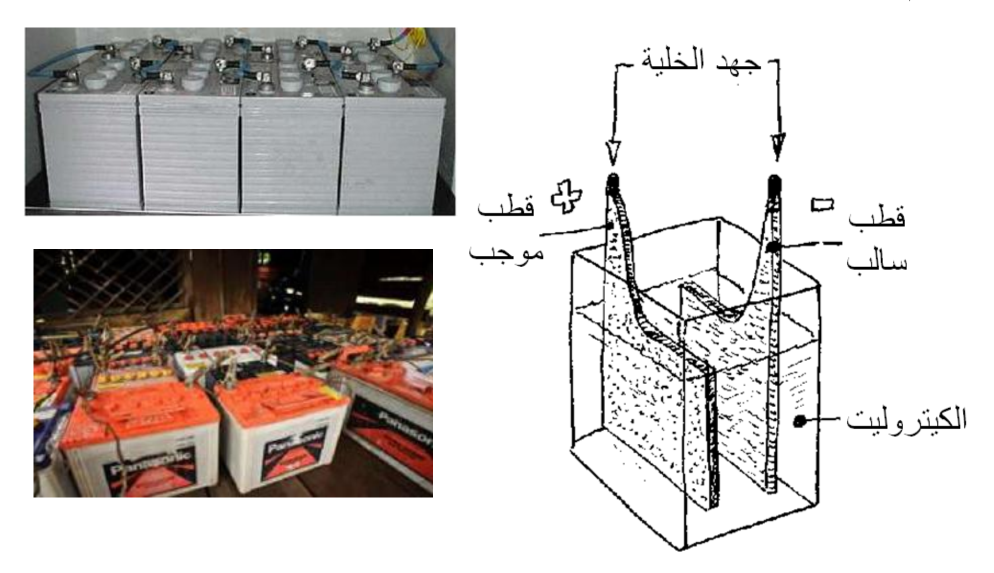
| نسبة الاعطال % | نوع العطل |
|---|---|
| 45.4 % | تآكل (corrosion) |
| 40.7 % | قطع بالتوصيلات أو الخلايا(cell or interconnect breaks) |
| 3.9 % | مشاكل برصاص المخرج (Output lead problems) |
| 3.6 % | مشاكل بصندوق الوصلات (Junction box problems) |
| 3.4 % | ترقق صندوق الوصلات (Junction box delamination) |
| 1.5 % | سخونة زائدة بالأسلاك والديودات و شرائط الطرفية (overheated wires , diodes , terminal strips) |
| 1.4 % | انهيار ميكانيكي (mechanical damage) |
| 0.2 % | خلل في ديودات المسار الجانبي(Defective bypass diodes) |

(Sunpower Module Degradation Rate)

# الباب السابع
# بطاريات الطاقة الشمسية
# Solar Batteries

تتكون البطارية من قطبين من مادتين مختلفتين وموصلتين للكهرباء ومغمورتين فى محلول للكهرباء ( إلكيترو‌ليت ) ويصبح أحد الأقطاب موجبا والآخرسالبا، وذلك حسب الشحنة التى يحملها كل منهما . يعتمد فرق الجهد (الفولت) بين القطبين على نوع المادتين المصنوع منهما الأقطاب وكذلك نوع محلول الإليكتروليت . وعلى ذلك فإن البطاريات تستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية بصورة آمنة ليمكن استخدامها فى أى وقت وحسب الحاجة . اخترعها العالم الإيطالى " أليساندو فولتا "**(Alessandro Volta)** عام ١٨٠٠ م .

تقوم بطاريات الطاقة الشمسية بتخزين الطاقة الكهربية التى أنتجتها الألواح الشمسية الفوتوفلتية **(Photovoltaic panels** ) أثناء سطوع الشمس في ساعات النهار لكًى يستفاد من هذه الطاقة الكهربية المخزنة في البطاريات خلال فترة غياب الشمس بالليل . وكذلك تستخدم بطاريات الطاقة الشمسية في المنازل أو المنشأت المغذاة بالنظام منفرد " أي النظام غير المتصل بشبكة الكهرباء العامة ”




شكل (١) أنواع بطاريات الطاقة الشمسية

## المتغيرات الكهربائية للبطاريات

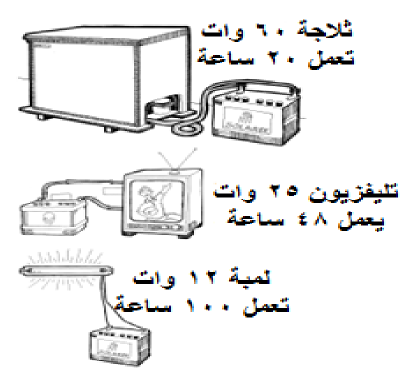
غالبية البطاريات المستخدمة مع الأنظمة الشمسية تكون من النوع الحمضي والألواح الرصاصية **Lead-Acid**، أو نوع النيكل كادميوم **( Nickel Cadmium )**وغالبية البطاريات المستخدمة لهذا الغرض تكون في حدود **12** فولت أو **24** فولت كما فى شكل (١) .

وللتعامل مع البطارية نحتاج لمعرفة متغيرين على الأقل من أصل ثلاثة متغيرات هي :

- الجهد الكهربائي ويقاس بالفولت **( Volts )**
- التيار ويقاس بالأمبير **(Amps)**
- القدرة وتقاس بالوات **(Watts)**

ويتم توصيل البطاريات مثل طريقة توصيل الخلاٌيا الشمسية وذلك للحصول على قيم جهد وتيار مختلفة (توصيل توالى و/أو توازى) .

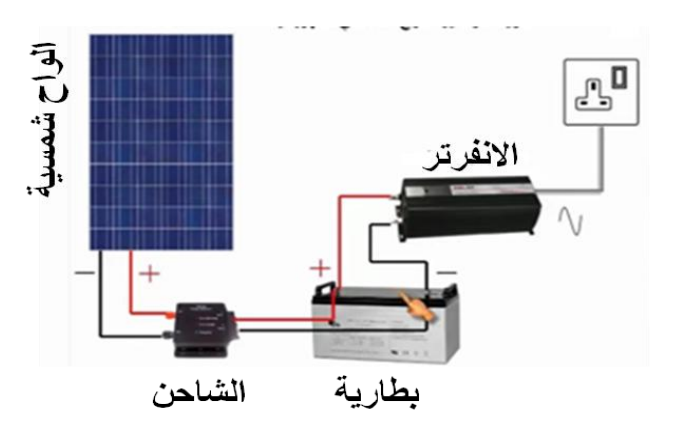
وتوصف البطارية بعدد الأمبير في الساعة ( **Ampere-Hours) (Ah** ) ، أو الوات فى الساعة **(Wh)** تسمي بسعة البطارية **(Battery Capacity)** والتى تعرف بأنها كمية الكهرباء الناتجة من البطارية عند معدل تفريغ معلوم حتى يصل الجهد لحد معلوم فى درجة حرارة معلومة . وعلي سبيل المثال إذا كانت البيانات على البطارية كالتالي **12 volt 19Ah** هذا يعني أن هذه البطارية تستطيع توفير **19** أمبير لمدة ساعة واحدة أو **1** أمبير لمدة **19** ساعة، وذلك قبل الحاجة إلي إعادة شحنها مرة أخري كما يمكن - من الناحية النظرية- أن تشحن في ساعة واحدة إذا تم تغذيتها بـ **19** أمبير أو شحنها في ساعتين في حالة ما كان التيار **9,5** أمبير وهكذا ...كذلك يوضح شكل (٢) مثال لبطارية سعة ١٢٠٠ وات ساعة يمكن ان تغذى أى حمل اعتمادا على قدرة كل حمل وبالتالى تختلف عدد ساعات التشغيل .



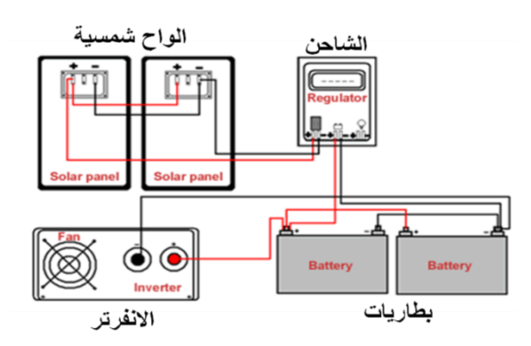

**شكل (٢) مثال لبطارية ١٢٠٠ وات ساعة ، تغذى ثلاجة أو تليفزيون أو لمبة اعتمادا على قدرة كل حمل**

يوضح شكل (٣) مكونات دائرة محطة شمسية ، حيث تقوم ألواح الطاقة الشمسية **(Solar panel)** بتحويل ضوء الشمس إلي تيار مستمر ثم يمر التيار عبر أسلاك التوصيل إلي منظم الشحن **( Charge controller or Regulator)** والذى يقوم بتنظيم الجهد المغذى لبطاريات الطاقة الشمسية التي من خلالها يتم تخزين الطاقة الكهربية طوال فترة عمل الألواح الشمسية في فترة النهار ثم يمر التيار بعد ذلك إلي محول التيار أو الانفرتر الذي يقوم بتحويل التيار المستمر إلى متردد وينظم الجهد حتي يصبح مناسبا للاستخدام بالنسبة للأجهزة الكهربية سواء المنزلية أو المكتبية .

يوضح شكل (٤) طريقة توصيل بطاريتين بمحطة شمسية .




شكل (٣) مكونات دائرة محطة شمسية




شكل (٤) توصيل بطاريتان بمحطة شمسية

**البطارية المثالية**

تعرف صفات البطارية المثالية بالاتى :

- لها كثافة طاقة عالية
- صلبة لتحمل أجراءات التنقل والتداول
- طويلة العمر
- آمنة
- مرنة الاستخدام
- قابلة لأعادة الشحن

**هل يمكن استخدام بطارية السيارة لتخزين الطاقة الشمسية؟**

بطاريات السيارات مصممة لكي تنتج كمية كبيرة من الشحنة الكهربية فى فترة قصيرة وهي فترة بداية دوران المحرك ثم باقى الوقت يتم شحنها عن طريق الدينامو في السيارة، علي عكس بطاريات الطاقة الشمسية المصممة لكي يتم شحنها طوال فترة سطوع الشمس ثم تقوم بتفريغ شحنتها طوال الليل. وفًى الحقيقة بطاريات الطاقة الشمسية هي ما يطلق عليها بطاريات دورة الشحن العميق **(Deep cycle batteries)** .

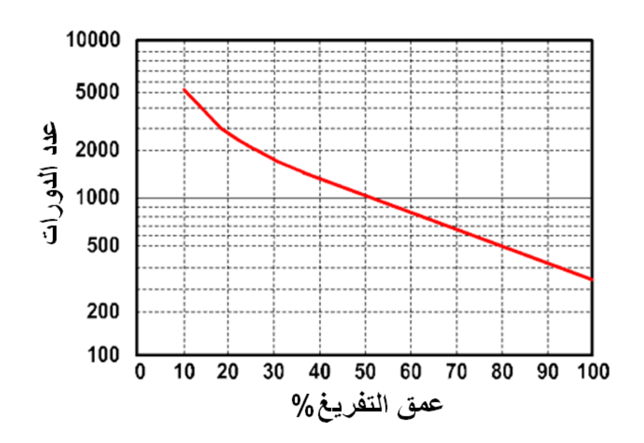
**بطاريات دورة الشحن العميق ( بطاريات الطاقة الشمسية )**

تستخدم في أنظمة الطاقة الشمسية غير المتصلة بالشبكة العامة وكذلك أنظمة طاقة الرياح وتطبيقات صناعية وبحرية متعددة. تمتاز هذه البطاريات بالآتى :

- تتم عملية الشحن في وقت طويل وبتيار منخفض ويتم تفريغ الشحنة في وقت طويل.
- قد تصل كفاءتها للشحن والتفريغ الًى **90%** أو حتًى **95%** وهذا رقم كبير جدا مما يجعلها مميزة.

ويعتبر الفرق العملًى ما بين بطاريات دورة الشحن العميق الحقيقية ( بطاريات الطاقة الشمسية ) و بطاريات الشحن العميق ( للأغراض الملاحية وفي عربات الجولف ) و البطاريات العادية ( بطاريات السيارات ) هو أن بطاريات الشحن العميق الحقيقية تستطيع تحمل تفريغ شحنتها كاملة **1200** مرة دون أن تتلف . أما بطاريات الشحن العميق للأغراض الملاحية وفي عربات الجولف فتستطيع ان تقوم ما بين **200** الًى **300** مرة من تفريغ شحنتها كاملة دون أن تتلف. بينما بطارية السيارة العادية فقد تتحمل ذلك ما بين **50** الًى **100** مرة. شكل (٥) يوضح العلاقة بين عمق التفريغ وعدد الدورات .

ويميز بطاريات الشحن العميق الحقيقية أن حجم وسمك صفايح الرصاص المصنعة منها كبير حتي يتحمل الحمل الواقع عليها أثناء الشحن الكامل أو التفريغ الكامل. وهذا يرفع تكلفتها نظرا لارتفاع تكلفة الرصاص.




شكل (٥) العلاقة بين عمق التفريغ وعدد الدورات

**<u>أنواع بطاريات الطاقة الشمسية</u>**

- بطاريات حمضية ذات ألواح الرصاص المغمورة Flooded cell Lead Acid (FLA) ( شكل (٦) )

تكون ألواح الرصاص مغمورة تماما بسائل قابل للتأين الكهربي، مع مراعاة أن هذا النوع يقوم أثناء عمله باطلاق غاز الهيدروجين القابل للانفجار ولذا يتم اتخاذ الحذر الكافي بحيث لا يتواجد بجانبها أي نوع من اللهب أو الشرارة أثناء عملها.




شكل (٦) بطارية حمضية بألواح الرصاص المغمور

- **بطاريات الرصاص غير المغمورة Valve Regulated Lead Acid (VRLA)**

فى هذا النوع تستخدم تكنولوجيا تجعل الحمض مجمد فى صورة جيل أو على شكل هلامي ، وهو خليط من الماء وحمض الكبريتيك وجسيمات السليكات ، والخليط هو سائل يجمد بعد فترة وجيزة . بعد ملء البطارية بالجيل ، ولا يبقى بداخلها فراغ ، لذلك يتعذر على البطارية إعادة تركيب الأكسجين . حيث يحدث أثناء الشحن طرد كمية من الماء بتأثير التحليل الكهربائى ، ويصحب أثناء طرد الماء تصدعا فى هيكل الجيل ، فتتخلق شبكة مفتوحة من التشققات وتصبح البطارية قادرة على إعادة تركيب الأكسجين .

تحتاج هذه النوعية إلى نظام شحن جيد جدا مع مراعاة الجهد ( الفولتية ) ودرجة الحرارة .

من مزاياها :

- لا ينسكب منها الحمض فى أى مرحلة من مراحل التشغيل
- قدرة عالية ، ومقاومة داخلية منخفضة ، واستجابة للتحميل
- أسرع بخمس مرات فى الشحن من البطاريات العادية
- دورة حياة طويلة
- العمل بشكل جيد فى درجات الحرارة المنخفضة عموما ،البطارية لا تحتاج إلي صيانة تقريبا كما أنها تطلق كمية مهملة من غاز الهيدروجين مما يجعلها أسهل في النقل و التركيب ولا خطورة في التعامل معها
- ويوجد من هذا النوع ثلاثة أنواع رئيسية وهم Wet و AGM و Gel .
  - النوع Wet يستطيع أن يقوم بعمل ما يقرب من ٥٠٠ عملية تفريغ عميقة لما يقرب من ٨٠% من شحنته وهو أصلا مصمم لأغراض ملاحية ولكن يمكن استخدامه في أنظمة الطاقة الشمسية حيث يعتبر حل مثالي واقتصادي
  - النوع AGM (Absorbed Glass Mat) يعني السائل القابل للتأين الكهربي ,والذى تم امتصاصه في حصيرة اسفنجية.
  - النوع Gel سائل تم تحويله إلي ما يشبه الجيلي أي أنه أصبح أقل ميوعة وأكثر تماسكا.

فكلا النوعين AGM أو Gel جيدين جدا ويمكن أن يعملا في أي ظرف ولكن بالطبع الـ Gel هو أفضل وأكثر كفاءة وعمره الافتراضي أكبر كما أنه يقوم بعمل دورة تفريغ عميقة قد يصل فيها إلي تفريغ ٩٥% من الشحنة الموجودة بالبطارية. يوضح شكل (٧) نوع من بطاريات الرصاص غير المغمورة.




شكل (٧) بطارية الرصاص غير المغمورة

- **بطاريات التخزين نيكل ـ كادميوم ( Nickel Cadmium )**

تعمل بنفس الأسس العامة كبطاريات الرصاص ـ الحمض، ولكن تستعمل فيها مواد كيميائية مختلفة. يصنع القطب السالب في بطارية النيكل ـ الكادميوم، من الكادميوم، كما أن القطب الموجب يتكوّن من أكسيد النيكل، ويستعمل محلول هيدروكسيد البوتاسيوم كإلكتروليت.

يُصَمَّم التكوين الكيميائي لبطارية النيكل ـ كادميوم بحيث يكون الإناء المحتوي على مكونات البطارية محكمًا ضد الهواء، مما يمنع الإلكتروليت ذا الطبيعة التآكلية ـ من التسرب إلى الخارج يوضح شكل (٨) أحد أنواع بطاريات التخزين نيكل ـ كادميوم .




شكل (٨) بطاريات التخزين نيكل ـ كادميوم

**أنواع بطاريات الطاقة الشمسية من حيث شكل شرائح الرصاص**

يوجد نوعان من بطاريات الطاقة الشمسية ، كما فى شكل (٩) اعتمادا على شكل شرائح الرصاص هما :

- شرائح مسطحة ( Flat Plates)

و تكون ألواح الرصاص علي شكل شرائح متراصة وعمرها الافتراضي ما بين ١٠ الي ١٢ سنة.

- ألواح اسطوانية الشكل ( Tubular plate)

وتكون ألواح الرصاص علي شكل اسطوانات متداخلة وعمرها الافتراضي ما بين ٢٠ الي ٢٥ سنة.

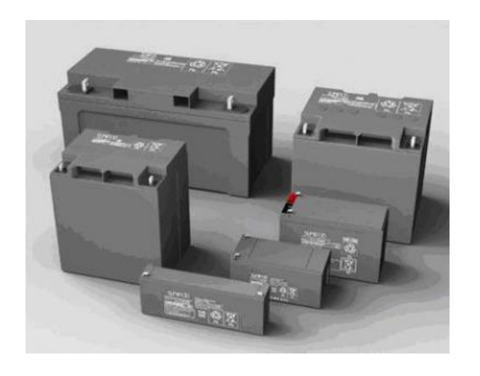
ويمكن التمييز بين النوعين بمجرد النظر حيث نجد البطاريات ذات الألواح الاسطوانية أطول من بطاريات الألواح المسطحة بشكل ملحوظ كما فى شكل (١٠).







شكل (٩) أنواع بطاريات الطاقة الشمسية من حيث شكل شرائح الرصاص



شكل (١٠) الشكل العام لبطاريات الطاقة الشمسية

## طرق توصيل البطاريات

يوجد أكثر من طريقة للتوصيل حسب طبيعة الإستخدام :

١) توصيل على التوازي (Parallel)

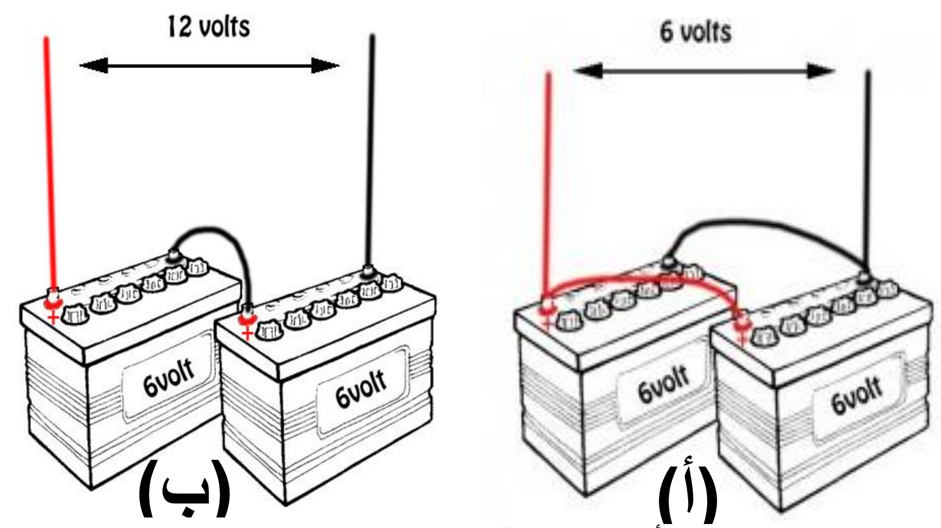
وفيها يتم توصيل البدايات مع البدايات والنهايات مع النهايات – موجب مع موجب وسالب مع سالب مثلا - من أجل الحفاظ على نفس الجهد ولكن مع جمع قيم التيارات لكل بطارية من أجل زيادة التيار الكلي وبالتالي رفع القدرة الكلية كما فى شكل (١١- أ )

٢) توصيل على التوالي (Series)

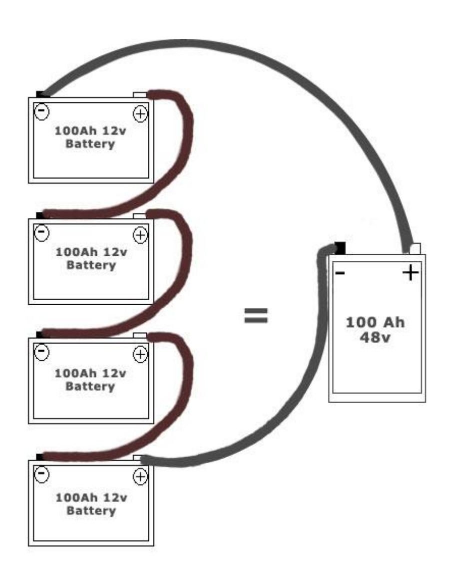
وتتم عن طريق توصيل النهايات مع البدايات – موجب مع سالب وسالب مع موجب - من أجل الحفاظ على نفس التيار ولكن مع جمع قيم الجهود لكل بطارية من أجل رفع فرق الجهد الكلي كما فى شكل (١١ – ب ) وشكل (١٢)

٣) الدمج بين الطريقتان

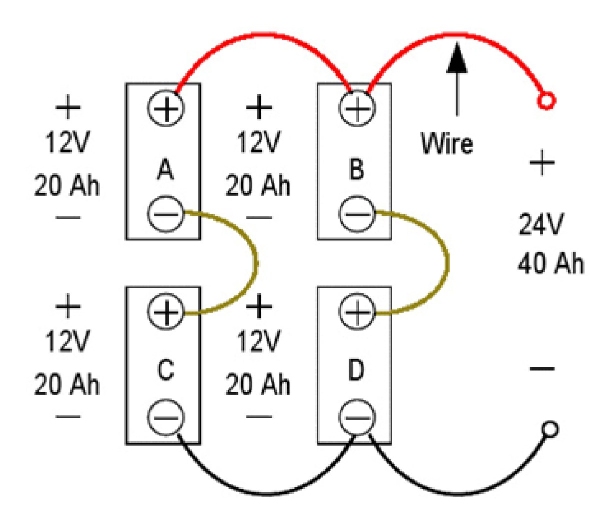
وهي في الغالب الطريقة المستخدمة في المنظومات الضخمة للتمتع بكل ميزة موجودة في توصيل التوازي أو التوالي كما فى شكل (١٣) والذى يوضح توصيل بطاريتين على التوالى ثم توصيلهما على التوازى




شكل (١١) (أ) توصيل البطاريات على التوازى، (ب) وعلى التوالى




شكل (١٢) توصيل ٤ بطاريات على التوالى والبطارية المكافئة لهم




شكل (١٣) توصيل توالى / توازى لعدد ٤ بطاريات

## معدل الشحن أو التفريغ ( Rate of charge or discharge )

يحسب معدل الشحن أو التفريغ طبقا للمعادلة الاتية :

$$Rate = C / T$$

حيث : **C** = السعة المقننة للبطارية ( أمبير . ساعة )

**T** = زمن الدورة (ساعة) **(cycle time period)**

يوضح جدول (١) تيارات الشحن الناتجة من الخلايا الفوتوفولتية وتيار التفريغ المحدد بالحمل ، ويوضح جدول (٢) مقنن السعات النموذجية للبطاريات فى تطبيقات الفوتوفلتية

جدول (١) تيارات الشحن والتفريغ

| البند | بطاريات نيكل كادميوم | بطاريات رصاص حمضية |
|---|---|---|
| تيار الشحن الناتج بواسطة الخلايا الفوتوفولتية :<br>• أقصي تيار شحن | $I_{20}=It/20$ | $I_{20}=C_{20}/20\ h$ |
| • متوسط تيار الشحن | $I_{50}=It/50$ | $I_{50}=C_{50}/50\ h$ |
| تيار التفريغ المحدد بالحمل :<br>• متوسط تيار التفريغ | $I_{120}=It/120$ | $I_{120}=C_{120}/120\ h$ |
| | حيث:<br>$In=It/t$<br>$It=Cn(Ah)/1(h)$<br>**It =** التيار المرجعي<br>**t =** الزمن بالساعات | حيث :<br>$In=Cn/t$<br>**Cn=**السعة المقننة بالأمبير ساعة<br>**n=** الزمن بالساعات والخاصة بالسعة المعلنة<br>**t=** الزمن الساعات |

جدول (٢) مقنن السعات النموذجية للبطاريات فى تطبيقات الفوتوفلتية

| السعة Ah | التيار A | | دورة التفريغ H | الفولت النهائي v/cell | |
|---|---|---|---|---|---|
| | الرصاص الحمضية | نيكل-كادميوم | | رصاص حمضية | نيكل-كادميوم |
| $C_{120}$ | $I_{120}$ | It/120 | 120 | 1.85 | 1.00 |
| $C_{10}$ | $I_{10}$ | - | 10 | 1.80 | - |
| $C_5$ | - | It/5 | 5 | - | 1.00 |

**كفاءة الشحن ( Charging efficiency ) :**

هي النسبة بين كمية الكهرباء المنقولة اثناء التفريغ للخلية أو البطارية والكمية الكهربائية الضرورية لاعادة حالة الشحن الابتدائية تحت ظروف موصفه .

يوضح جدول (٣) كفاءة البطارية عند حالات مختلفة من الشحن ودرجات حرارة مرجعية والتفريغ اليومي العميق بحيث لا يزيد عن ٢٠ % من السعة المقننة

جدول (٣) كفاءة البطارية

| حالة الشحن (SOC) (State of *Charge)* | الكفاءة % | |
|---|---|---|
| | بطاريات الرصاص الحمضية | بطاريات النيكل كادميوم |
| **90 %** | > **85 %** | > **80 %** |
| **75 %** | > **90 %** | > **90 %** |
| **<50 %** | > **95 %** | > **95 %** |

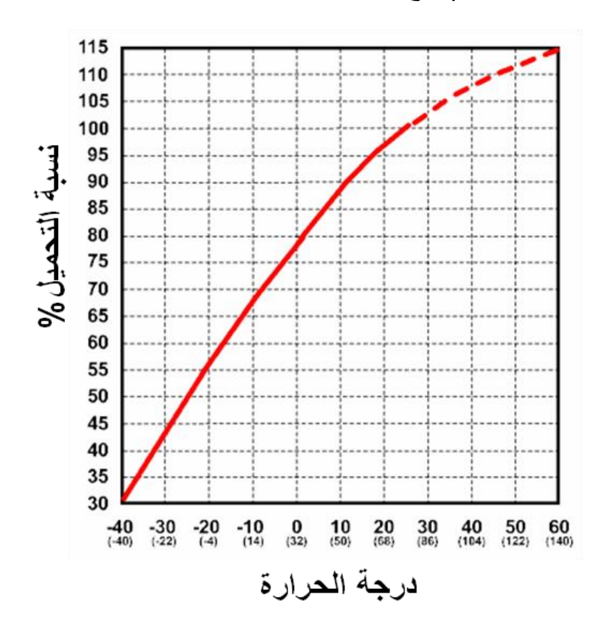
**العوامل المؤثرة على عمر البطارية**

- الشحن الزائد (overcharging)
  يؤدى إلى زيادة سرعة تآكل الألواح
- التفريغ العميق (deep discharging)
  يؤدى إلى عدم عمل التحليل الكيميائى داخل البطارية
- التعرض لدرجات الحرارة العالية (exposure to high temperature)
  تعمل على سرعة حدوث التآكل

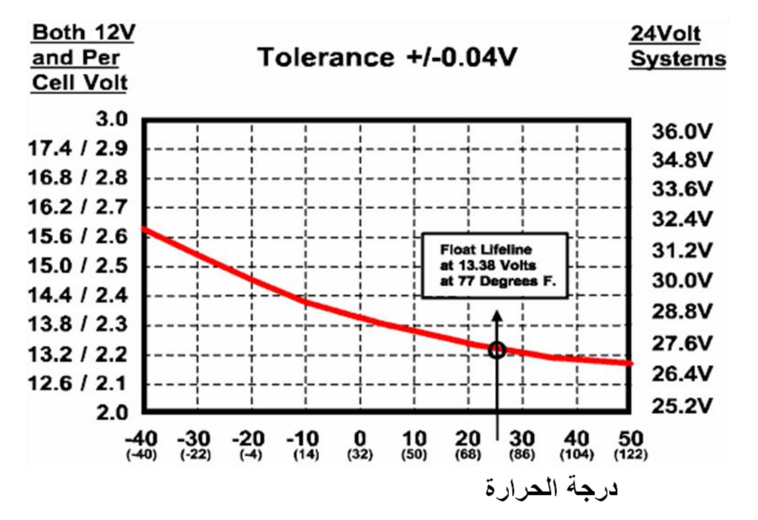
- انخفاض مستوى الالكتروليت (low electrolyte level)
انخفاض السعة نتيجة التعرض للجو

## تأثير درجة الحرارة على البطاريات :

- تنخفض سعة البطارية (أمبير – ساعة) مع انخفاض درجة الحرارة ، وتزيد السعة مع زيادة درجة الحرارة . يكون المقنن القياسى للبطارية عند درجة حرارة الغرفة ( ٢٥ درجة مئوية) . يوضح شكل (١٤) أنه عند درجة حرارية -٢٧ درجة مئوية تهبط سعة البطارية الى ٥٠% ، وعند درجة التجمد تنخفض السعة الى ٢٠% ، بينما تزيد السعة عند درجات الحرارة العالية ، مثلا عند درجة حرارة ٥٠ درجة مئوية تزيد السعة بحوالى ١٢% .
- يتغير جهد شحن البطارية مع تغير درجة الحرارة . يوضح شكل (١٥) مثال لتغير جهد بطارية ١٢ فولت وأخرى ٢٤ فولت مع درجة الحرارة ، كذلك تغير جهد الخلية (المكونة للبطارية) مع درجة الحرارة .




شكل (١٤) العلاقة بين نسبة التحميل ودرجة الحرارة




شكل (١٥) العلاقة بين درجة الحرارة وجهد البطارية وجهد الخلية

**اشتراطات استخدام البطاريات**

- يفضل توصيل البطاريات توالى عن التوصيل توازى لأنها الأسهل عند تحديد الأعطال وتكون تيارات التشغيل أقل
- لا تستخدم أبدا بطاريات مختلفة الأنواع أو السعة معا فى سلسلة واحدة
- لا تستخدم بطاريات جديدة مع بطاريات قديمة
- يجب وضع البطاريات فى مكان جيد التهوية وبارد
- يجب ألا يقل أقصى تصميم نموذجى لعمق التفريغ عن ٥٠ %

**اشتراطات التشغيل العام للبطاريات :**

١. مدة الخدمة الذاتية للبطارية (الزمن الذاتي)
تصمم البطاريات للحصول علي طاقة توصف لفترة زمنية نموذجية فعلية من ٣-١٥ يوم بالأشعة الشمسية أو بدونها

٢. تيارات الشحن والتفريغ .
طبقا لنوع البطاريات والمواصفات القياسية

٣. الدورة اليومية .
تتعرض البطاريات لدورة يومية كالآتي :
- شحن أثناء ساعات النهار
- تفريغ أثناء ساعات الليل

عادة تكون حالة التفريغ بين ٢% إلي ٢٠ % من سعة البطاريات يوميا

٤. الدورة الموسمية

تعني أن تتعرض البطارية لدورة موسمية لحالة الشحن كالآتي :

- أثناء الشتاء تكون فترات الاشعاع الشمسي منخفضه وبالتالي يحدث انتاج طاقة منخفضة عندئذ تنخفض حالة شحن البطارية (السعه المتاحه) إلي ٢٠ % أو أقل من السعة المقننة
- أثناء الصيف تكون فترات الاشعاع الشمسي عالية ، وبالتالي تصل البطارية الي حالة الشحن الكامل ، مع احتمال أن تصل البطارية الي حالة الشحن الزائد

٥. فترة حالة الشحن المرتفع

أثناء الصيف تعمل البطاريات في حالة شحن مرتفع نموذجيا بين ٨٠% : ١٠٠% من السعة المقننة

٦. فترات حالة الشحن المنخفض المستمرة

تتعرض الخلايا الشمسية الي اشعاع شمسي منخفض ببعض المواقع الجغرافية خلال فترات الشتاء والسحب الكثيفة والامطار وتراكم الاتربة . عندئذ تكون الطاقة المنتجة بواسطة الخلايا الشمسية غير كافية لاعادة الشحن الكامل للبطارية ، في هذه الحالة تتناقص حالة الشحن وتحدث دورات (شحن/تفريغ) عند حالة الشحن المنخفض .

٧. زيادة ترسيب في الطبقات السفلي للالكتروليت نتيجة عدم التقليب

في بطاريات الرصاص الحمضية قد ينقص السائل الالكتروليتي :

- في بطاريات الرصاص الحمضية ذاتية التنفيس ، فيمكن تجنب نقص المحلول بتقليب الالكتروليت أو منع الشحن الزائد الدوري اثناء التشغيل .
- في بطاريات الرصاص ذات الصمام المنظم ، فيمكن تجنب الترسيب الطبقي للالكتروليت بالتصميم الجيد أو التشغيل طبقا لتعليمات الصانع .

٨. التحكم في الشحن.

يتم التحكم في الشحن باستخدام وسائل تحكم مناسب.

٩. الحماية الطبيعية .

يجب توفير الحماية الطبيعية للبطاريات عند الظروف الطبيعية مثل :

- التعرض لضوء الشمس المباشر (الأشعة تحت البنفسجية )
- التوزيع الحراري الزائد وغير المنتظم
- الهواء المحمل بالاتربة وبالرمال
- الصدمات والاهتزازات (أثناء النقل)
- تكثيف بخار المياه ، رزاز المياه

١٠.التخزين :

يتم مراعاة توجيهات المصنع الخاصة بتخزين البطاريات ، في حالة بطاريات الرصاص الحمضية او النيكل كادميوم المملوء بالالكتروليت يجب تخزينها عند حالة الشحن الكامل . وقد يحدث فقد في سعة البطاريات نتيجة التعرض لدرجات الحرارة العالية أو الجو المشبع بالرطوبة اثناء التخزين .

في حالة عدم وجود توصيات للتخزين من المصنع عندئذ يمكن استخدام جدول (٤)

١١.درجات حرارة التشغيل

تعتبر حدود درجات حرارة البطاريات أثناء التشغيل في الموقع من العوامل الهامة في اختيار البطاريات ومدة الخدمة المتوقعة منهم .

من الملاخظات الهامة:

- تقل عمر البطارية مع ارتفاع درجة حرارة التشغيل
- انخفاض درجة حرارة البطارية يؤدي الي انخفاض أداء البطارية اثناء التفريغ وكذلك السعة .
- يجب مراعاة توصيات الصانع بخصوص درجات حرارة التشغيل ونسبة رطوبة التشغيل . في حالة عدم وجود توصيات من الصانع يتم الاستعانة بجدول (٥)

جدول (٤) حدود فترات التخزين طبقا لنوع البطاريات في تطبيقات الخلايا الفوتوفولتية

| نوع البطارية | مدي درجات الحرارة (c°) | الرطوبة (%) | فترات تخزين البطاريات | |
|---|---|---|---|---|
| | | | بالالكتروليت | بدون الالكتروليت |
| بطارية رصاص حمضية | -٢٠ الي +٤٠ | اكبر من ٩٠ | حتي ٦ شهور | ١-٢ سنة (شحن جاف) |
| بطارية نيكل كادميوم (ذات اللوح الظرفي) | -٢٠ الي +٥٠ (إلكتروليت قياسي ) | اكبر من ٩٠ | حتي ٦ شهور | ١-٣ سنوات (تفريغ تام وتصفية المحلول واحكام غلق الفتحات) |
| | -٤٠ الي +٥٠ (إلكتروليت عالي الكثافة) | | | |

جدول (٥) حدود قيم ظروف تشغيل البطاريات في تطبيقات الخلايا الفوتوفولتية

| نوع البطارية | مدي درجات الحرارة (c°) | الرطوبة % |
|---|---|---|
| بطارية رصاص حمضية | -١٥ الي +٤٠ | اكبر من ٩٠ |
| بطارية نيكل كادميوم (الكتروليت قياسي) | -٢٠ الي +٤٥ | اكبر من ٩٠ |
| بطارية نيكل كادميوم (الكتروليت عالي الكثافة) | -٤٠ الي +٤٥ | اكبر من ٩٠ |

**مثال لخصائص بطارية " جيل " ( دورة الشحن العميق )**

Nominal voltage : 12 Volt

Lifetime : 12 years

Applicable temp. : - 40 c° to 60 c°

Optimum temp. : 20 c° to 25 c°

Self – discharge rate : < 0.1 / day (20 c°)

مقنن السعات المتاحة :

- 24 Ah ( 20 hr, 10.8 V, 25 c° )
- 45 Ah ( 10 hr, 10.8 V, 25 c° )
- 65 Ah ( 10 hr, 10.8 V, 25 c° )
- 100 Ah ( 10 hr, 10.8 V, 25 c° )
- 150 Ah ( 10 hr, 10.8 V, 25 c° )

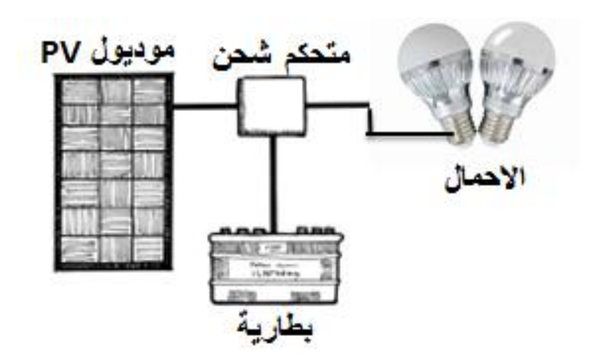
# الباب الثامن
# متحكمات شحن البطاريات
# Battery charge controllers

يمكن أن تتعرض البطاريات للتلف فى الحالات الاتية :

- إذا استمر شحن البطارية بعد إتمام شحنها
- إذا تم سحب الشحن (التفريغ) من البطارية عند قرب تفريغها

من هنا تظهر أهمية وجود منظم أو متحكم يعمل على فصل البطارية بمجرد شحنها ، أو وصول جهد البطارية الى قيمة أعلى أو اقل من مستوى الشحن ، ووقف عملية تشغيل سحب أحمال منها عند وصول الشحن بها الى حد معين .

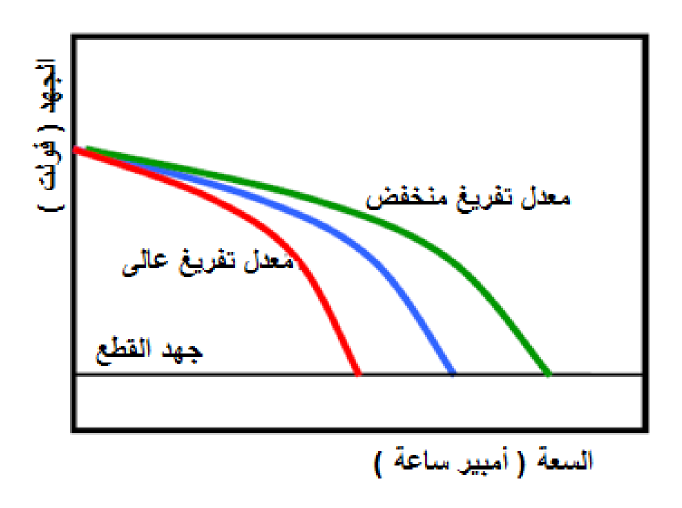
يعمل المتحكم على توفير الحماية لجميع مكونات النظم الفوتوفلتية : الألواح الشمسية ، البطاريات ، الأجهزة الكهربائية المغذاة كأحمال . ويعمل المتحكم بصورة أساسية على إطالة عمر مجموعة البطاريات يوضح شكل (١) تمثيل لمتحكم شحن وبطارية .




شكل (١) تمثيل لمتحكم شحن وبطارية

تمتاز المتحكمات (المنظمات) الأوماتيكية بأنها تعمل آليا من خلال سلسلة متعددة المراحل لضمان توفير الشحن السريع والكامل بدون التسبب فى إنبعاث غازات من البطاريات .

تشكل عملية تفريغ البطارية ( discharge ) ترسبات كبريتية ( sulfate deposits (على صفائح البطارية ومع مرور الوقت فإن هذه الترسبات تؤدى الى انخفاض سعة البطارية ( مثلا البطارية ذات السعة ٢٠٠ أمبير ساعة تتصرف مثل بطارية سعة ١٠٠ أمبير ساعة ) مسببة انخفاض عمر البطارية ثم تلفها ، ويوضح شكل (٢) منحنى معدل تفريغ عالى وتفريغ منخفض .




شكل (٢) منحنى معدل تفريغ عالى وتفريغ منخفض

بعد شحن البطارية بالكامل يجب تعريضها لجهد أقل قليلا للحفاظ على ابقائها مشحونة ، إذا تم تركها معرضة لمستويات جهد أعلى ( وهو جهد الشحن الأولى ) سيؤدى ذلك الى انبعاث غازات سامة ، وتبخر المحلول وفقد الماء من البطارية ، مسببا انخفاض عمر البطارية .

يجب مراعاة الآتي :

- متطلبات الجهد اللازم لكل من: الشحن الأولي العالي (initial bulk charge) والشحن الخفيف العائم (subsequent float charge) ومرحلة الصيانة

- تشحن البطاريات الحامضية المغمورة القياسية ذات جهد ٦- ١٥ فولت، بجهد ١٤،٢– ١٤،٤ فولت تقريبا، وللبطاريات ٢٤ ، ٤٨ فولت تضاعف هذه الأرقام.
- تشحن البطاريات الهلامية ذات الجهد التصميمى ١٢ فولت، بجهد ١٣،٥ – ١٣،٨ فولت
- عند ترك البطاريات لفترة طويلة وهي على حالة الشحن البسيط أو الشحن العائم عندئذ يجب تعريضها لشحن عالى (Boost charge) لفترة قصيرة لتنشيطها.
- يعتمد جهد الشحن على درجة حرارة البيئة المحيطة.
- يكون الجهد الأقصى للشحن النموذجى ٢،٤ فولت لكل خلية بالنسبة لبطاريات الرصاص الحمضية و ١،٥٥ فولت لكل خلية بالنسبة لبطاريات النيكل كادميوم وذلك عند درجة الحرارة المرجعية الموصوفة بمعرفة الصانع .

توجد عدة طرق لتحديد حالة شحن البطارية (state of charge)(SoC) (تعرف حالة الشحن بأنها وسيلة لقياس كمية الطاقة (المتبقية ) منها: قياس كيميائية البطارية (الثقل النوعي specific gravity ). قيمة الجهد، تتبع التيار المار (بالمدخل والمخرج). ويوضح جدول (١) حالة الشحن وجهد البطارية والثقل النوعي للخلية

**جدول (١) حالة الشحن لبطاريات ٦، ١٢ فولت، ولمجموعة بطاريات ٢٤، ٤٨ فولت، والثقل النوعي للخلية**

| الثقل النوعي/ خلية | خلية الدائرة المفتوحة (فولت) | | | | نسبة الشحن |
|---|---|---|---|---|---|
| | مجموعة ٤٨ فولت | مجموعة ٢٤ فولت | بطارية ١٢ فولت | بطارية ٦ فولت | |
| ١,٢٢٧ | ٥٠,٩٢ | ٢٥,٤٦ | ١٢,٧٣ | ٦,٣٧ | %١٠٠ |
| ١,٢٥٨ | ٥٠,٤٨ | ٢٥,٢٤ | ١٢,٦٢ | ٦,٣١ | %٩٠ |
| ١,٢٣٨ | ٥٠,٠٠ | ٢٥,٠٠ | ١٢,٥٠ | ٦,٢٥ | %٨٠ |
| ١,٢١٧ | ٤٩,٤٨ | ٢٤,٧٤ | ١٢,٣٧ | ٦,١٩ | %٧٠ |
| ١,١٩٥ | ٤٨,٩٦ | ٢٤,٤٨ | ١٢,٢٤ | ٦,١٢ | %٦٠ |

| ١,١٧٢ | ٤٨,٤٠ | ٢٤,٢٠ | ١٢,١٠ | ٦,٠٥ | %٥٠ |
|---|---|---|---|---|---|
| ١,١٤٨ | ٤٧,٨٤ | ٢٣,٩٢ | ١١,٩٦ | ٥,٩٨ | %٤٠ |
| ١,١٢٨ | ٤٧,٢٤ | ٢٣,٦٢ | ١١,٨١ | ٥,٩١ | %٣٠ |
| ١,٠٩٨ | ٤٦,٦٤ | ٢٣,٣٢ | ١١,٦٦ | ٥,٨٣ | %٢٠ |
| ١,٠٧٣ | ٤٦,٠٤ | ٢٣,٠٢ | ١١,٥١ | ٥,٧٥ | %١٠ |

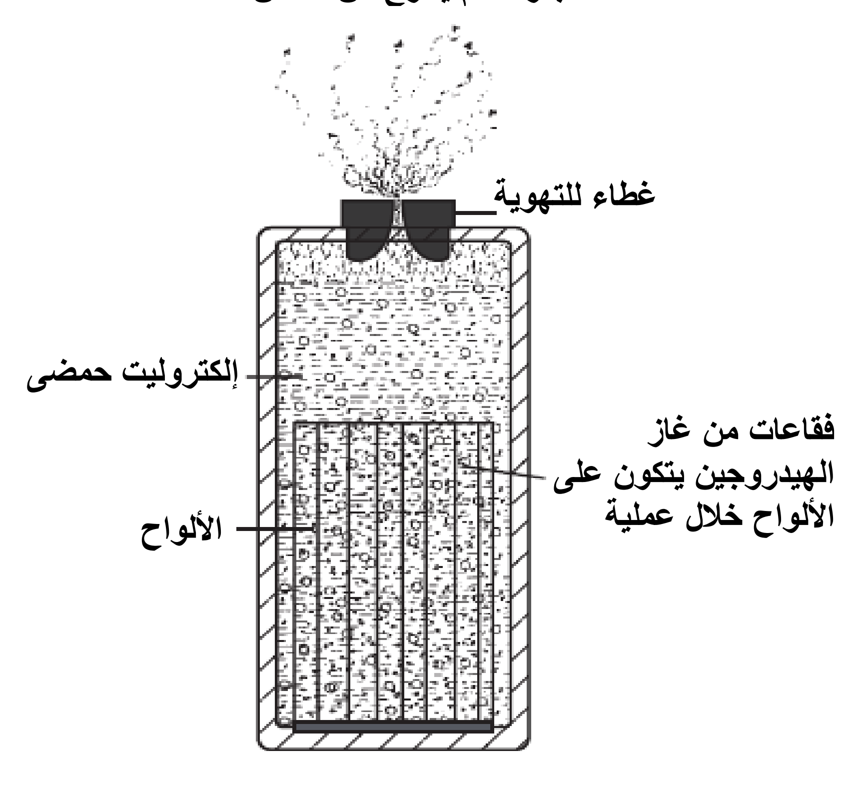
❖ **الثقل النوعي : العلاقة بين كتلة حجم معين من مادة وكتلة حجم مساو له من الماء عند درجة حرارة ٤ مئوية.**

**<u>النسبة القصوى للشحن :</u>**

هي النسبة القصوى لتيار شحن البطارية والتي تساوي تقريبا ١٥% من الأمبير ساعة (في بعض الأحيان تصل الى ٢٠ – ٢٥%) للسعة الكلية لمجموعة البطاريات، مثلا لمجموعة بطاريات سعتها ٤٠٠ أمبير ساعة يجب ألا يتجاوز تيار الشحن ٨٠ – ١٠٠ أمبير

إذا زادت نسبة الشحن عن هذه الحدود فستحدث عملية شحن سريع لمجموعة البطاريات تؤدي إلى اضعافها واستهلاكها بسرعة مع مرور الوقت وتتلف البطاريات وتخلق حالة من الخطر وفقدان الأمان، وإذا انخفضت هذه النسبة بدرجة كبيرة عندئذ يتم الشحن في وقت طويل وبشكل بطئ جدا .

يوضح شكل ( ٣) تأثير الشحن الزائد على البطاريات




شكل ( ٣) غازات منبعثة نتيجة الشحن الزائد

## حالة الشحن المنخفض المستمرة

ينتج اشعاع شمسى منخفض على الخلايا الفوتوفلتية تبعا للموقع الجغرافى والذى يمكن أن يكون مصاحبا لفترات الشتاء والسحب الكثيفة والأمطار أو تراكم الأتربة على الخلايا الفوتوفلتية ، فى هذه الأثناء فإن الطاقة المنتجة بواسطة الخلايا الفوتوفلتية قد لاتكون كافية لإعادة الشحن الكامل للبطارية ، عندئذ تتناقص حالة الشحن وتحدث دورات الشحن / التفريغ عند حالة الشحن المنخفض .

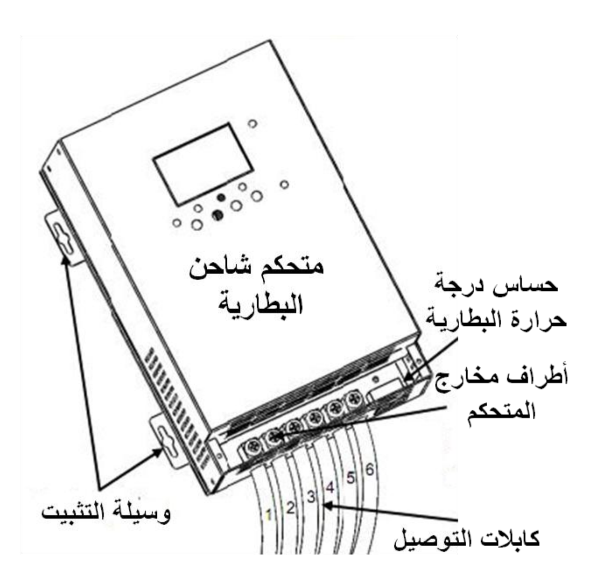
## منظمات (متحكمات) شحن البطاريات (Battery charge controllers)

يعمل المنظم على تحديد حدود التيار و/ أو الجهد الواصل إلى البطارية من مصدر الشاحن، أو يستخدم لتنظيم ومراقبة سريان التيار من الألواح الفوتوفلتية إلى مجموعة البطاريات، بالاضافة إلى حماية البطاريات من الشحن الزائد والتفريغ العميق.

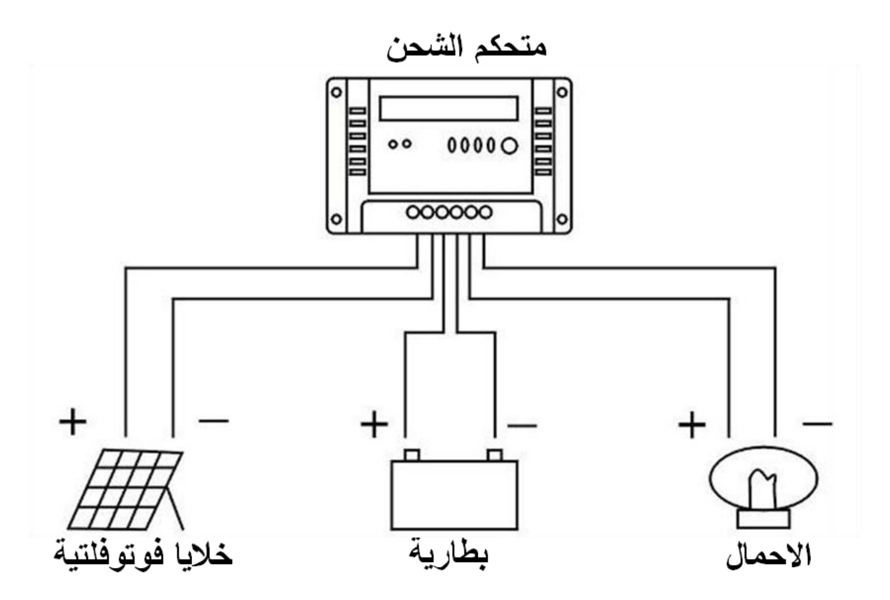
ويفضل استخدام منظمات شحن مع البطاريات لأغلب الأنظمة الفوتوفلتية ، وذلك لحماية البطاريات من الأعطال أو المخاطر التي يمكن أن تحدث من الشحن الزائد (overcharging). وتحتوي أغلب المنظمات على حماية ضد التفريغ الزائد (Over discharging) للبطارية عن طريق فصل أحمال التيار المستمر عند حالة الشحن المنخفض ، كذلك تحتوي المنظمات على وسيلة لمراقبة جهد البطارية وبعض المتغيرات الأخرى كما توجد أنواع وأحجام وأشكال مختلفة للمنظمات لها وظائف وملامح مختلفة.

يوضح شكل ( ٤) متحكم شحن بطارية يحتوى على أطراف التوصيل ووسيلة التثبيت .

ويوضح شكل (٥ ) رسم خطى لتوصيل البطارية والمتحكم والخلايا الفوتوفلتية والأحمال .




شكل (٤) أطراف توصيل وتثبيت متحكم شحن البطارية




شكل (٥) توصيل متحكم شحن البطارية

من أنواع المتحكمات الشائعة والتي تسمح بشحن البطاريات لقيمة قريبة من أقصى سعة:

- متحكم تعديل مدى النبضة Pulse Width Modulation (PWM)

والذى يعتمد أساساعلى مفتاح لتوصيل مصفوفة الفوتوفلتية (PV) إلى البطاريات ، وتكون النتيجة أن جهد المصفوفة سوف ينخفض إلى قيمة قريبة من جهد البطارية .

- متحكم تتبع نقطة أقصى قدرة Maximum Power Point (MPPT) Tracking

يكون أكثر تعقيدا، ويقوم بضبط تيار وجهد المدخل للحصول على أقصى قدرة من مصفوفة الفوتوفلتية (PV) ثم يحول جهد المدخل إلى الجهد المطلوب لقضبان التيار المستمر (DC) (مجموعة البطاريات)، ويشحن البطاريات بكفاءة عالية.

تستخدم منظمات شحن البطاريات مع الأنظمة الفوتوفلتية غير المتصلة بشبكة الكهرباء العامة .

يوضح شكل (٦) أشكال بعض أنواع متحكمات شحن البطاريات.







(ا) متحكم تعديل مدى النبضة        (ب) متحكم تتبع نقطة أقصى قدرة

شكل (٦) أنواع متحكمات شحن البطاريات

**المتطلبات اللازمة في منظمات شحن البطارية:**

- حماية ضد الشحن الزائد (overcharging)
- حماية ضد التفريغ العميق (deep discharging)
- منع التفريغ غير المتعمد (Unintentional discharge)
- شحن مثالي للبطاريات
- حماية ضد دائرة القصر (short circuit)
- حماية ضد انعكاس القطبية (polarity)
- مؤشر للبطارية (battery indicator)

يمكن أن يحتوي منظم الشحن على وظائف ومتطلبات إضافية مثل :

- الحصول على حالة شحن دقيق (accurate state of charge (soc))
- صيانة أتوماتيكية للبطاريات (تنظيم بواسطة المنظم)

- تتبع أقصى نقطة قدرة (MPPT) (Maximum power point tracking)
- التناسق مع تكنولوجيا البطاريات.
- مؤشر لتحديد مستوى الشحن.

**نقاط الضبط (set points)**

هي مستويات جهود البطارية التى عندها يقوم الشاحن بأداء وظائف التحكم أو التنظيم .

وفيما يلي تعريفها:

- جهد التنظيم (VR) (regulation voltage)

هو أقصى نقطة ضبط لجهد البطارية يسمح بها المنظم للوصول للبطارية ، قبل فصل أو الحد من تيار المصفوفة.

- جهد إعادة المصفوفة (array reconnect voltage)(ARV)

هو جهد نقطة الضبط التي عندها تعيد المصفوفة توصيل الجهد لشحن البطارية هذا الجهد يسري على المنظم من نوع القطع (interrupting) ولايعرف لنوعي المنظمين PWM ، وذو الجهد الثابت (constant-voltage)

- جهد الفصل المنخفض (low – voltage disconnect)(LVD)

هو جهد نقطة ضبط البطارية التي عندها يفصل المنظم أحمال النظام للحماية ضد التفريغ الزائد ( over discharge): يعرف LVD أقصى عمق تفريغ للبطارية عند معدل تفريغ معطي.

- جهد إعادة الحمل (load reconnect voltage)(LRV)

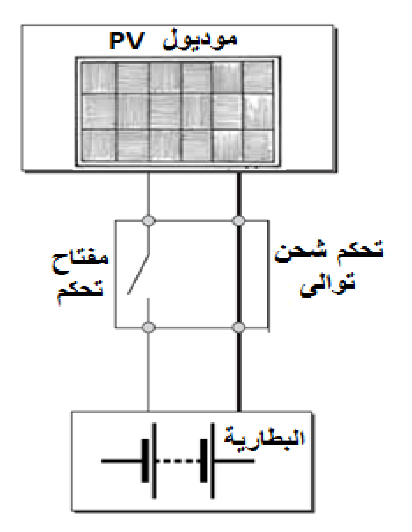
هو جهد نقطة الضبط التي عندها يتم إعادة الحمل للبطارية ، القيمة الأعلى لـ LRV تسمح للبطارية بارسال شحن أكثر قبل إعادة توصيل أحمال البطارية.

**أنواع المتحكمات (المنظمات) :**

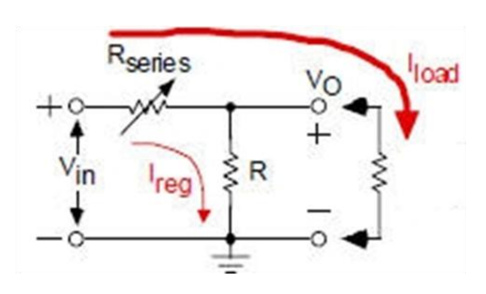
**١- متحكم توالى (series controller)**

يمثل شكل (٧) فكرة عمل متحكم شحن توالى والذى يعمل على فتح الدائرة ( من خلال مفتاح التحكم ) بين الخلايا الفوتوفلتية والبطاريات عندما تكون البطاريات مشحونة بالكامل ، وكذلك يمكن تمثيل هذا النوع كما فى شكل (٨) حيث يتم التحكم من خلال المقاومة المتغيرة .

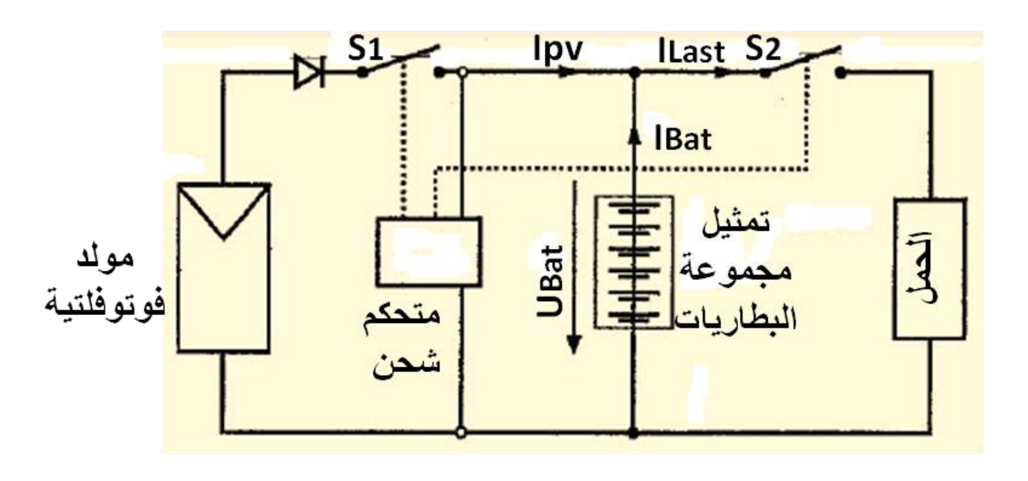
يوضح شكل (٩) دائرة كاملة لمتحكم توالى يحتوي على متمم (relay) أو مفتاح S1 من أشباه الموصلات (semiconductor) لمنع سريان أقصى تيار إلى البطارية عند الوصول إلى أقصى جهد، بمجرد هبوط الجهد إلى أقل من المستوى المحدد، عندئذ تعود المقدرة على الشحن. يجب التأكد من أن دائرة موديولات الفوتوفلتية (PV) دائما هي المغذية ، ومعلوما أن لهذا النوع مفقودات قدرة عالية.
في نوع متحكم التوالي الخطي (Linear series controller) يتحول المفتاح S1 (ترانزستور قدرة MOSFET وهو الترانزاستور المتأثر بالمجال ذى معدن مؤكسد من مواد شبه موصلة Metal oxide semiconductor field effect transistor ) إلى وضع القفل حتى يصل أقصى جهد إلى قيمة الضبط السابق (preset) . بعد الوصول إلى قيمة أقصى جهد يتم التحكم في الحمل عن طريق تحويل مفتاح القدرة S2 بين المصدر والحمل من قفل وفصل بخطوة سريعة (من خلال تعديل مدى النبضة (pulse width modulation(PWM) . يتم شحن البطارية حتى يصل جهد الشحن إلى أقصى قيمة.
من المميزات الواضحة لهذا النوع، أنه يمكن استخدامه بدون حماية ضد دائرة القصر جهة مصدر التغذية، بالاضافة إلى عدم حدوث مخاطر النقاط الساخنة بموديولات الفوتوفلطية.




شكل (٧) فكرة عمل متحكم شحن توالى




شكل (٨) تمثيل متحكم توالى من خلال مقاومة متغيرة



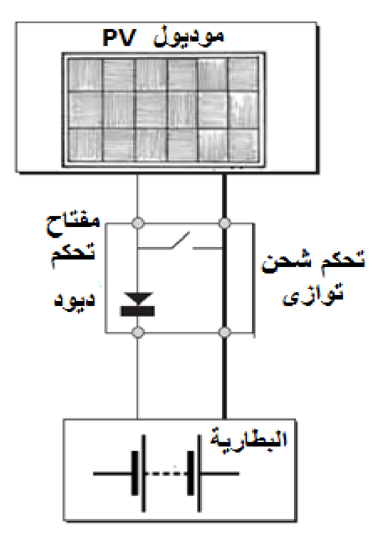

شكل (٩) أساسيات تشغيل تحكم شحن توالى

## ٢- متحكم التوازى (Shunt or Parallel controller)

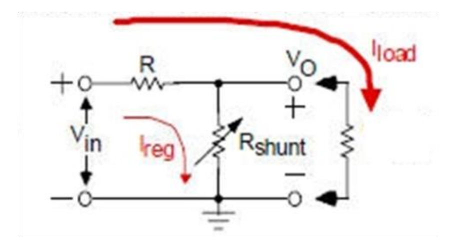
متحكم التوازي يخفض باستمرار قدرة الموديول عندما يصل جهد الشحن إلى حالة القطع (cut-out) . ولأن الموديول يستمر في إنتاج القدرة، فإن جزء من قدرة الموديول غير الضرورية تكون مماثلة لحالة تيار دائرة القصر في الموديول (أي أنها تتحول الى حرارة). علما بأن الموديولات المتعرضة لتيار دائرة القصر لاتسبب مشاكل، لكن تؤدي فقط إلى سخونة إضافية طفيفة. هذا النوع يعتبر نموذجي لشحن بطاريات آمنة وخفيفة الحركة .

يوضح شكل (١٠) فكرة متحكم شحن التوازى الذى يعمل دائرة قصر على الخلايا الشمسية عند عدم الاحتياج إلى شحن ذائد للبطارية . يوجد ديود (diode) بين البطارية ومفتاح تحكم لمنع حدوث قصر على البطارية ( أو البطاريات ) . كذلك يمكن تمثيل متحكم التوازى بمقاومة توازى كما فى شكل (١١) .

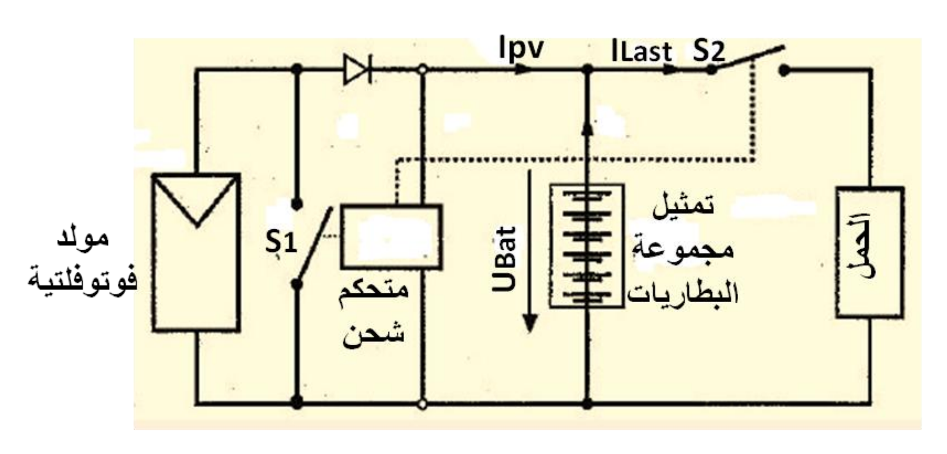
يوضح شكل (١٢) دائرة تحكم التوالى ، وفيه يعوق المتحكم القاطع S1 حتى يصل الجهد إلى قيمة القطع. وبعد أن يغلق القاطع –أو إذا وصل جهد الشحن إلى القيمة القصوى يتحول بالكامل لحالة التشغيل.




شكل (١٠) فكرة متحكم شحن التوازى



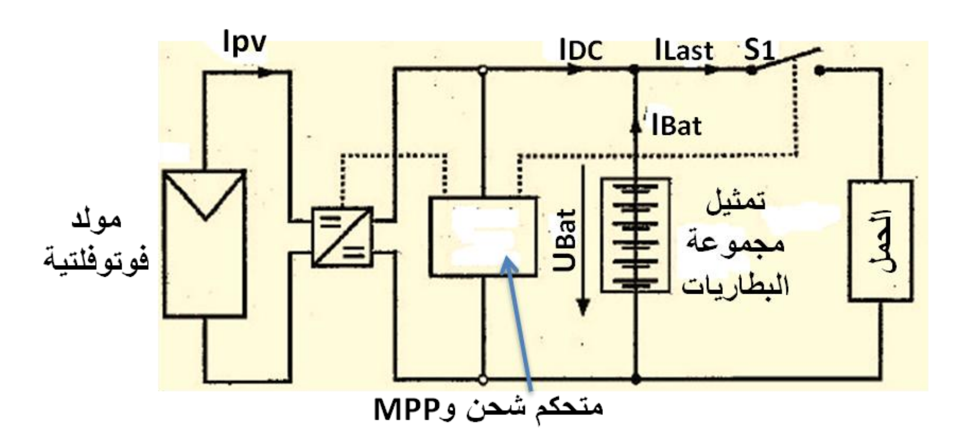

شكل (١١) تمثيل متحكم توازى




شكل (١٢) أساسيات تشغيل متحكم شحن توازى

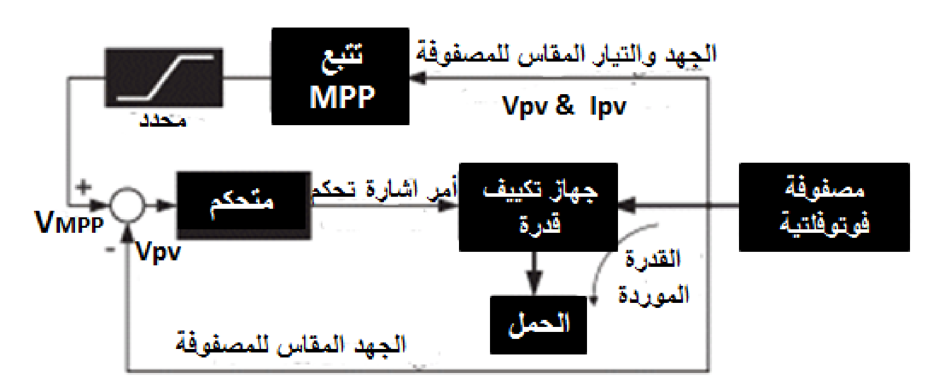
## متحكم شحن تتبع نقطة أقصى قدرة MPP (MPP charge controller)

لأن جهد البطارية يحدد نقطة التشغيل على منحنى خاصية الفوتوفلتية PV ، فإن مصفوفة PV لاتعمل عند نقطة أقصى قدرة MPP، يعتبر استخدام أي من متحكمات التوالي أو التوازي غير مثالي للطاقة الشمسية المتاحة، حيث تحدث كمية مفقودات القدرة بين ١٠% و ٤٠% إعتمادا على: جهد البطارية، الاشعاع الشمسى ودرجة الحرارة، ويمكن التغلب على ذلك باستخدام متتبع نقطة أقصى قدرة (MPPT) (MPP tracker) والموضح بشكل (١٣) ، يتكون هذا المتتبع أساسا من محول تنظيم (متغير) تيار مستمر / تيار مستمر (DC-DC converter) . حيث يتم التحكم من خلال متتبع MPP ، والذي يناظر ( أى يعمل مسح على ) منحنى خاصية التيار / الجهد لمصفوفة PV ، كل ٥ دقائق تقريبا، ويحدد قدرة MPP . وعندئذ ينشط المحول DC/DC ويحصل على أقصى قدرة من مصفوفة PV ويضبط هذه القيمة لموائمة جهد شحن البطارية. تكون كفاءة مغير تيارمستمر/تيار مستمر من ٩٠% إلى ٩٦%، وباستخدام متتبع MPPT والذي يعمل بحساسية فقط لمصفوفات ذات قدرة تساوي أو أكبر من ٢٠٠ ك. وات . للمصفوفات ذات القدرة الأقل، تكون مفقودات تحويل المتغير (converter) أعلى من ميزة المتحكم، لذلك يستلزم للدائرة أن تصبح أكثر تعقيدا، وأحيانا تكون تكلفة المتحكم أعلى. هذايعني أنه للأسباب الاقتصادية، حاليا، غالبا ما تستخدم متحكمات الشحن MPP فقط لمولدات PV التي تبدأ قدرتها من 300 Wp



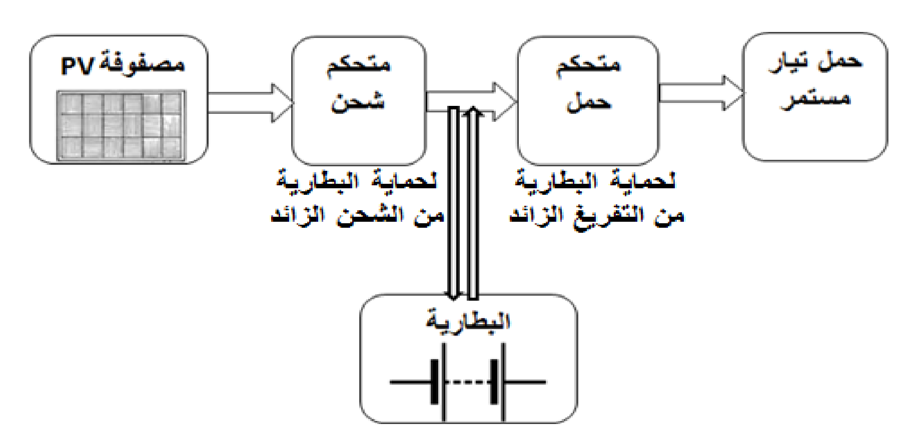

شكل (١٣) متحكم شحن MPP

يوضح شكل (١٤) حالة التشغيل العملى للتحكم من خلال تتبع نقطة اقصى حمل وذلك بتنظيم قيمة معينة للجهد أو التيار الممثلين لموضع نقطة اقصى قدرة . هذه الحالات ذات تغيير للأشعة الشمسية ودرجة الحرارة مع الزمن .

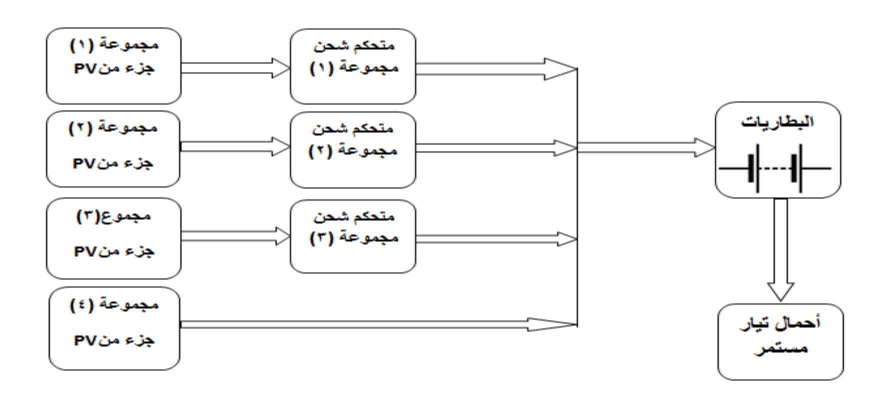



شكل (١٤) توصيل متحكم شحن تتبع نقطة أقصى حمل

يوضح شكل (١٥) تمثيل لتوصيل متحكم شحن يستخدم لحماية البطاريات من التفريغ العميق الزائد، كما يوضح شكل (١٦) تمثيل لمجموعة متحكمات شحن متعددة يمكن استخدامها للأنظمة الكبيرة ويبين الرسم أنه يمكن استخدام متحكم مع مجموعة فرعية من مصفوفة PV في حالة ما إذا كان تيار الشحن فى الساعة لايزيد عن ٣% من سعة البطارية. ويوضح شكل (١٧) متحكمى شحن (MPP) متصلين على مجموعة بطاريات .

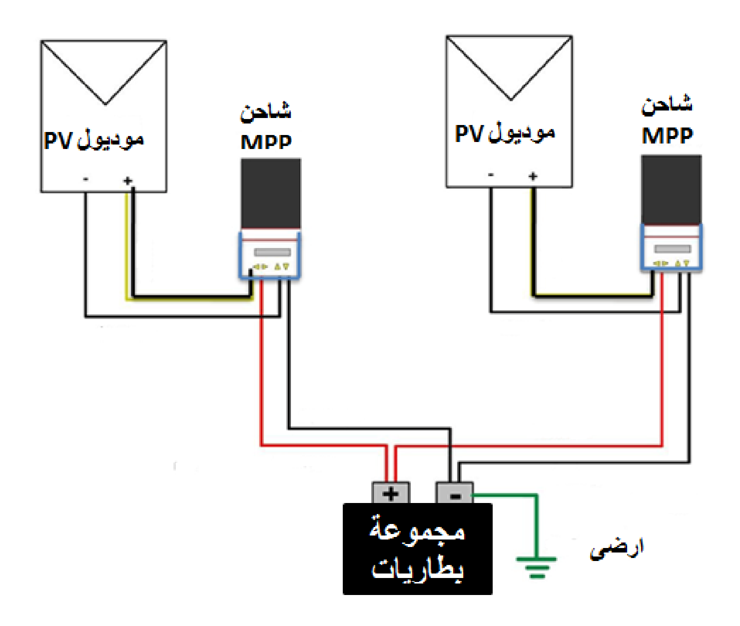



شكل (١٥) متحكم شحن مستخدم لحماية البطاريات من التفريغ العميق الزائد




شكل (١٦) متحكمات شحن متعددة يمكن استخدامها للأنظمة الكبيرة

(المجموعة (٤) تستخدم بدون متحكم شحن إذا كان تيار الشحن في الساعة لا يزيد عن ٣% من سعة البطارية )




شكل (١٧) متحكمى شحن (MPP) متصلين على مجموعة بطاريات

**مثال لخصائص متحكم شحن: Specification of a charge controller**

Rated voltage : 12 V  مقنن الجهد

Max solar panel input current 20 A  أقصى تيار مدخل للخلية الشمسية

Max solar panel work voltage 23 V  أقصى جهد تشغيل للخلية الشمسية

Max input solar panel power 200 W  أقصى قدرة مدخل للخلية الشمسية

Solar panel efficiency improvement: 10- 30%  كفاءة تحسين الخلية الشمسية

Working efficiency rate: 95-97% — كفاءة العمل

MPPT regulator (maximum power point tracking) — منظم MPPT

Full charge cut: 14 V — أقصى جهد شحن

Voltage drop < 400 mV — هبوط الجهد

Low voltage cut: 10.5 V — أقل جهد

Supply resume voltage: 12.6 V — جهد استعادة المصدر

Temp compensation : - 3 mV/ cell — معامل تعويض

Zero loaded losses : < = 45 mA / 12 V — مفقودات الحمل

Min. Wire size: 1 ~ 2 A / mm2 — أقل مقاس سلك

Dimensions: 188 * 118 * 55 cm — المقاس

# الباب التاسع
# كابلات المحطات الفوتوفلتية
# Cables for photovoltaic plants

في السنوات القليلة الماضية زاد استخدام إنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية، هذا المصدر عبارة عن تيار مستمر (DC) يصاحب ذلك ضرورة استخدام تقنية لتخزين الطاقة الناتجة من المحطة الفوتوفلتية هذه التقنية هي البطاريات .

في المناطق النائية وغير المتصلة بالشبكة الكهربائية ، يلزم وجود المحطة الفوتوفلتية لتغذية الأحمال الكهربائية بالتيار المستمر (DC) من خلال فوتوفلتية وشاحن وبطاريات ، وتصبح البطاريات كتغذية خلفية في أوقات عدم وجود الشمس . وهي طريقة عالية الكفاءة لتغذية الأجهزة الكهربائية مباشرة بالتيار المستمر . وكابلات الفوتوفلتية تكون مسئولة عن نقل الطاقة الكهربائية من الخلايا الفوتوفلتية إلى العاكس (inverter) ومنه الى الشبكة الموحدة أو الى أحمال كهربائية . وهذا يعنى الاحتياج إلى كابلات تيار مستمر(DC) وتيار متردد (AC) . يجب الاهتمام باختيار كابلات التيار المستمرلأن هذه الكابلات تتعرض لمخاطر أكثر من كابلات التيار المتردد عند حدوث قصر (short circuit)، لذا يوصى باستخدام كابلات تيار مستمر لها درجة مستوى عالى حتى يكون لديها مقاومة ملائمة ضد العوامل الجوية . كذلك يجب أن يؤخذ فى الاعتبار قيمة التيار المار بمكونات التيار المستمر ( والذى يكون فى أغلب الأحيان أكبر من الحالة المماثلة فى مكونات التيار المتردد ) بحيث يتم الاختيار المناسب لمقطع الكابلات لتجنب المفقودات فى الطاقة الكهربائية المنتجة ، وأيضا يجب مراعاة نسبة هبوط الجهد طبقا لكود الكهرباء.

عموما، فالاختيار غيرالسليم لمقاس الكابلات و التوصيلات يؤدى الى السخونة الزائدة والتى تسبب الحريق نتيجة مرور التيارات العالية ، بينما الاختيار السليم للمقاسات يؤدى الى عدم الاحتياج الى أية أعمال صيانة لمدة طويلة.
تستخدم كابلات تيار مستمر (DC) في المواضع الآتية :

- بين الموديولات وبعضها
- توصيلات تجميع السلاسل

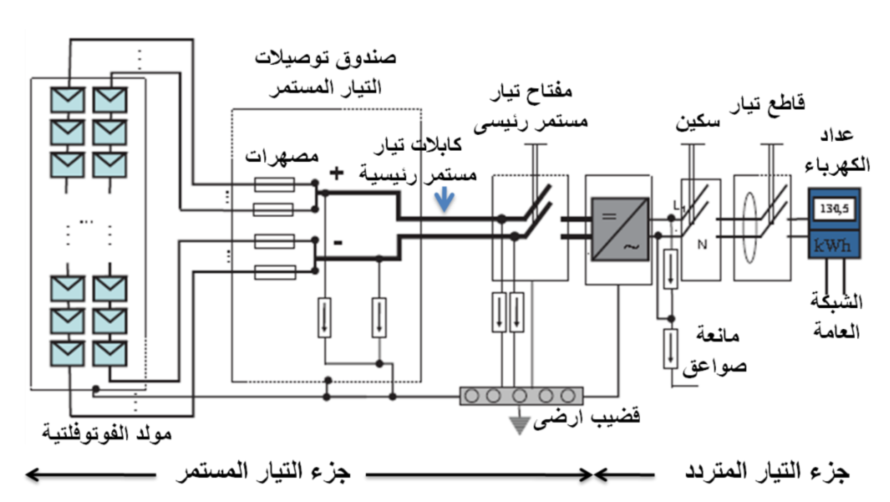
- مخارج المصفوفة الي الشاحن
- بين الشاحن والبطاريات
- من الشاحن و/ أو البطاريات وحتي الأجهزة الكهربائية المغذاة بالتيار المستمر .

بينما في حالة تغذية أحمال كهربائية بالتيار المتردد من محطة فوتوفلتية عندئذ يحتاج الي كابلات تيار مستمر (DC) في المواضع الآتية:

- بين الموديولات وبعضها
- توصيلات تجميع السلاسل
- مخارج المصفوفة الي العاكس (Inverter)

ويتم تغذية الأحمال بكابلات تيار متردد من مخرج العاكس وحتى الأحمال الكهربائية .

يوضح شكل (١) رسم خطى لمكونات شبكة محطة فوتوفلتية تتكون من جزئين هما جزء التيار المستمر وجزء التيار المتردد . يتكون جزء التيار المستمر من: مجموعة من الموديولات متصلة توالى / توازى ، وصندوق توصيلات التيار المستمر ، وكابلات التيار المستمر، مفتاح رئيسى، بينما يتكون جزء التيار المتردد من: كابلات تيار متردد ، قاطع تيار رئيسى ويربط الجزئين العاكس .




**شكل (١) رسم خطى لمكونات شبكة محطة فوتوفلتية**

يجب مد الكابلات بطريقة صحيحة مع مراعاة الأصول الفنية ، لكابلات التيار المستمر يراعى تحقيق المسافة المناسبة بين القطب الموجب والقطب السالب ، وأن يختلف لون كابل القطب الموجب (أحمر) عن لون كابل القطب السالب (أسود). لكابلات التيار المتردد ينصح باستخدام ألوان مختلفة بين كابلات الأطوار الثلاثة وكابل التعادل . من جدولى (١) و(٢) يتضح أن كود ألوان دوائر التيار المستمر والتيار المتردد .

جدول (١) كود ألوان دوائر التيار المستمر :

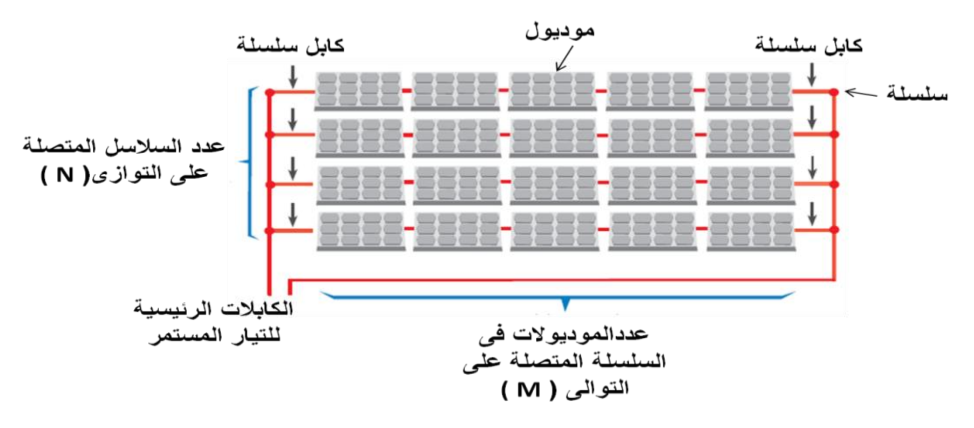
| الوظيفة<br>Function | الرمز<br>Label | اللون<br>Color |
|---|---|---|
| موجب (لسالب مؤرض) | L+ | احمر |
| سالب (لسالب مؤرض) | N | ابيض |
| موجب (لموجب مؤرض) | N | ابيض |
| سالب (لموجب مؤرض) | L_ | اسود |
| موجب | L+ | احمر |
| سالب بالمنتصف | N | ابيض |
| سالب | L_ | اسود |

جدول (٢) كود ألوان توصيلات دوائر التيار المتردد :

| الوظيفة<br>Function | الرمز<br>Label | اللون<br>Color |
|---|---|---|
| أرضي حماية | PG | قضيب،اخضر، أو أصفر/أخضر |
| التعادل | N | أبيض |
| خط ، أحادي الطور | L | أسود أو أحمر |
| خط ، ثلاثي الطور | L1 | أسود |

| خط ، ثلاثي الطور | L2 | أحمر |
|---|---|---|
| خط ، ثلاثي الطور | L3 | أزرق |

يوضح شكل (٢) توصيلات كابلات التيار المستمر لمصفوفة تتكون من أربعة سلاسل (N)، بكل سلسلة عدد خمسة موديول (M) ، يجب مراعاة مقطع كابلات التيار المستمر الرئيسية، حيث تكون أكبر من مقطع كابل السلسلة .




**شكل (٢) مثال لتوصيلات كابلات التيار المستمر الرئيسية وبالسلسلة**

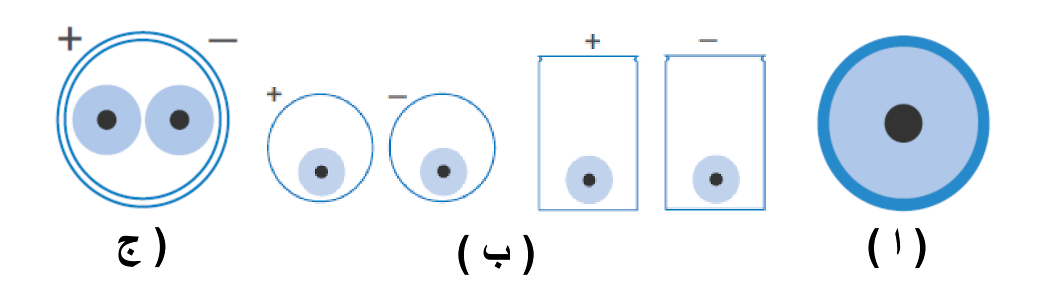
## أنواع الكابلات من حيث نوع الموصل :

### a) كابل ذو موصل مصمت (Solid Conductor)

يجب التحفظ عند استخدامه في انشاءات المباني الصناعية وخاصة الأماكن المتعرضة لاهتزازات وحركة ، وذلك لأنه غير مرن مثل الكابلات المجدولة ، حيث عند تعرض الكابل المصمت للاهتزازات أو الحركة فيؤدي ذلك إلي انهيار الكابل .

أنواعها :

١. كابل أحادى القلب ، عزل مزدوج ( كما فى شكل (٣)(ا) )
٢. كابل أحادى القلب محمى ميكانيكيا بمرورة فى مواسير أو ترانش ( كما فى شكل (٣) (ب))
٣. كابل متعدد القلب – مسلح ( كما فى شكل (٣) (ج)




**شكل (٣) أنواع الكابلات المصمتة**

## b) كابل ذو موصل مجدول ( Stranded Cable)

في انجلترا يطلق عليه مرن (flex)   وفي أمريكا يسمي حبل (Cord).

هو كابل ذو قلب مكون من عدة موصلات مجدولة معا (الجديلة  stand هي مجموعة من الأسلاك الكهربائية التي تكوّن حزمة مجدولة ) .

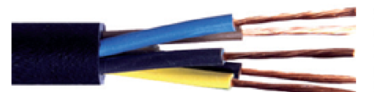
يتصف الكابل بأنه مرن وسهل الاستخدام وخاصة عند الانحناءات .

قد يؤدي الاستخدام السئ الي حدوث قطع في بعض الموصلات المجدولة وبالتالي يقل المقطع الكلي للكابل ، وينخفض التيار المقنن مؤديا إلي حدوث نقط ساخنة بالكابل .

كلما زاد عدد الموصلات المجدولة كلما كان الكابل أكثر مرونة وأيضا أكثر تكلفة .

عادة يكون أقل عدد للموصلات المجدولة هو ٧ ، واحدة بالمنتصف وستة محاطة بها .

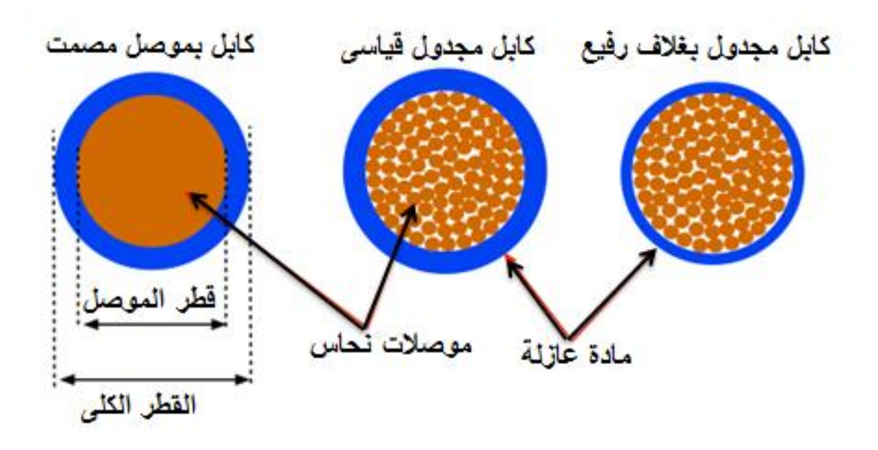
والكابلات المحتوية علي ١٩ موصل مجدول ، توزع واحدة بالمنتصف وتحاط بعدد ٦ موصل مجدول ثم تحاط ب ١٢ موصل مجدول وهو النوع الغالب استخدامه مع البطاريات .يوضح شكل (٤) بعض الكابلات المجدولة .ويوضح شكل (٥) مقارنة بين الكابل المجدول والكابل المصمت . يوضح جدول (٣)  مقطع الكابلات وعدد الجدلات ومساحة السلك المجدول .

**شكل (٤) نماذج لبعض أنواع الكابلات المجدولة**

جدول (٣) توصيف الكابلات المجدولة :

| Cable Cross Section mm2 مساحة مقطع الكابل | Strands جدلات | Cable Stranding Multi-Wire كابل مجدول (أسلاك متعددة) | Fine Wire أسلاك دقيقة | Extra Fine Wire أسلاك دقيقة جدا |
|---|---|---|---|---|
| 0.5 | 7 × 0.30 | 7 × 0.30 | 16 × 0.21 | 28 × 0.06 |
| 0.75 | 7 × 0.37 | 7 × 0.37 | 24 × 0.21 | 42 × 0.16 |
| 1.00 | 7 × 0.43 | 7 × 0.43 | 32 × 0.21 | 56 × 0.16 |
| 1.50 | 7 × 0.52 | 7 × 0.52 | 30 × 0.26 | 84 × 0.16 |
| 2.50 | 7 × 0.67 | 19 × 0.41 | 50 × 0.26 | 140 × 0.16 |
| 4.00 | 7 × 0.85 | 19 × 0.52 | 56 × 0.31 | 224 × 0.16 |
| 6.00 | 7 × 1.05 | 19 × 0.64 | 84 × 0.31 | 192 × 0.21 |
| 10.0 | 7 × 1.35 | 49 × 0.51 | 80 × 0.41 | 320 × 0.21 |
| 16.0 | 7 × 1.70 | 49 × 0.65 | 128 × 0.41 | 512 × 0.21 |
| 25.0 | 7 × 2.13 | 84 × 0.62 | 200 × 0.41 | 800 × 0.21 |
| 35.0 | 7 × 2.52 | 133 × 0.58 | 280 × 0.41 | 1120 × 0.21 |
| 50.0 | 19 × 1.83 | 133 × 0.69 | 400 × 0.41 | 705 × 0.31 |
| 70.0 | 19 × 2.17 | 189 × 0.69 | 356 × 0.51 | 990 × 0.31 |
| 95.0 | 19 × 2.52 | 259 × 0.69 | 485 × 0.51 | 1340 × 0.31 |
| 120.0 | 37 ×2.03 | 336 × 0.67 | 614 × 0.51 | 1690 × 0.31 |




**شكل (٥) مقارنة بين الكابل المجدول والكابل المصمت**

**العوامل المؤثرة فى اختيار مقاس الكابلات :**

- جهد الصمود أو التحمل ( withstand voltage )

عادة يكون الجهد الذى تتحملة الكابلات حتى ١٠٠٠ فولت

- هبوط الجهد ( Voltage drop )
  - هو مقدار الجهد الناشئ خلال الكابل نتيجة لمرور التيار خلاله
  - وهو فقد الجهد نتيجة مقاومة الموصلات لمرور التيار
  - يكون بدلالة كل من مقطع الكابل وطوله والتيار المار به
  - هو القيمة المقاسة عند حالات الاختبار القياسية (STC) وذلك لتحقيق أقل مفقودات .

يمكن حساب هبوط الجهد أو الاعتماد على بيانات جداول الصانع .

- سعة تحميل التيار ( Ampacity or current carrying capacity )
  - تختار سعة تحميل التيار للكابلات بحيث لا تؤدى إلى حدوث انهيار
  - للكابلات ذات المقطع الأكبر تيار تحميل أعلى

- يتم اختيار مساحة مقطع موصل الكابل بناء على أقصى تيار سيمر فى الكابل ، طبقا لموقعة فى مكونات المحطة الشمسية
- يجب أن يكون أقصى تيار يمر بالكابل أقل من كل من : سعة تحميل الكابل ومقنن تيار المصهرات المستخدمة .
- يعتمد أقصى تيار يمر بالكابلات أساسا على مساحة المقطع ، و درجة الحرارة المحيطة ، وترتيب الكابلات وهل هم حزمة . تخضع قيم أقصى تيار ومساحة المقطع للمواصفات القياسية العالمية IEC 60512 – 3 ، كذلك تنص المواصفة على أن كابلات الفوتوفلتية يجب أن تتحمل الأعطال الأرضية ( earth fault ) وتيارات القصر ( short circuit ) .

**مقنن التيار والجهد لكابلات التيار المستمر**

والتي تستخدم في توصيلات المديولات بالسلسلة والكابلات الرئيسية للتيار المستمر كما فى شكل (٢).

تتعرض كابلات التيار المستمر المستخدمة للتوصيلات بين الموديولات الى زيادة الحمل وبالتالي احتمالات حدوث الحريق لذلك يتم اختيار الكابلات بعناية ودقة .

لمصفوفة تتكون من:

- عدد السلاسل المتصلة على التوازى = N
- عدد الموديولات المتصلة على التوالى بكل سلسلة = M

أقل جهد وتيار لكابلات السلسلة والكابلات الرئيسية للتيار المستمركما فى جدول(٤) :

جدول (٤) أقل جهد وتيار مستمر لكابلات السلسلة والكابلات الرئيسية

| المتغيرات | كابلات السلسلة | الكابلات الرئيسية |
|---|---|---|
| الجهد | >Voc(stc)x Mx 1.15 | Voc(stc) *M *1.15 |
| التيار | >Isc(stc)x ((N- 1)x 1.25 | Isc(stc) *N *1.25 |

**اشتراطات تؤخذ في الاعتبار :**

١. **الكابلات بين المصفوفة والمنظم**

- يجب أن تتحمل الكابلات ١،٣ من مقنن قدرة المصفوفة
- عادة لا تمثل المسافة بين المصفوفة والمنظم أي نسبة حرجة لهبوط الجهد وذلك لأن المنظم يعمل في حدود لتغيرات الجهد ، ولكن يجب الحفاظ علي أن يكون فقد القدرة من ٣-٥%

٢. **الكابلات بين المنظم والأحمال الكهربائي**

- تتحمل جميع التوصيلات أقصي قدرة مسحوبة للأحمال
- يجب أن يؤخذ في الاعتبار أطوال الكابلات لمراعاة نسبة فقد القدرة وأقصي سعة لتيار الحمل .

٣. **الكابلات بين البطارية والمنظم**

- للمسافة بين البطارية والمنظم يكون هبوط الجهد حرج لأن المنظم يشحن البطارية بجهد محدد .
في حالة هبوط جهد القيم المرتفعة عندئذ تتأثر جهود الشحن وبالتالى يمكن أن تؤثر في عمر البطارية ، يفضل أن تكون أطوال الكابلات بين البطارية والمنظم قصيرة ، بحيث يحدث هبوط جهد أقل من 0.25 فولت للنظام ١٢ فولت ( او 0.5 فولت للنظام ٢٤ فولت ) .
- يجب مراعاة مقاس الكابل ليتحمل أقصي تيار مسحوب من البطارية ( اذا كانت الاحمال الكهربائية سيتم تغذيتها من المنظم مباشرة )
- تتحمل الكابلات أقصي قدرة مسحوبة للحمل .

من العناصر الهامة التى يجب أن تؤخذ فى الاعتبار : مدى تشغيل درجة الحرارة ، للكابلات التى تركب خارج المبانى تتحمل حتى + ٨٠ درجة مئوية .كذلك يجب أن تكون الكابلات مقاومة للحريق .

## مقاس الكابلات (Cable Sizing)

### ١) كابلات التيار المستمر (DC)

تستخدم المعادلة التالية لحساب مقاس كابلات التيار المستمر، بالسلسلة والرئيسية .

$$A_{DC,string} \geq (\mathbf{2}. L_{string} . I_{String})/(\Delta v_{string} \text{ . M. } V_{mod} \text{ .k)}$$

$$A_{DC,main} \geq (\mathbf{2}. L_{cable} . N. I_{String})/(\Delta v_{main} \text{ . M. } V_{mod} \text{ .k)}$$

**حيث :**

$A_{DC\ Cable}$ : مساحة مقطع الكابل الرئيسي للتيار المستمر (الوحدة : مم٢)

$A_{DC\ string}$ : مساحة مقطع كابل السلسلة للتيار المستمر (الوحدة : مم٢)

$L_{Cable}$ : طول الكابل الرئيسي (الوحدة: متر)

$L_{string}$ : طول كابل السلسلة (الوحدة: متر)

$I_{String}$ : أقصي تيار للموديول ($I_{mpp}$) في السلسلة (الوحدة : أمبير )

**K** : الموصولية الكهربائية (Electrical Conductivity) (الوحدة: متر/أوم. مم٢) والتي تساوي ٥٦، ٣٣ متر/ أوم.مم٢ لموصلات النحاس والألمونيوم علي التوالي.

**N** **:** عدد السلاسل المتصلة علي التوازي

**M** **:** عدد الموديولات المتصلة علي التوالي بالسلسلة

$V_{mod}$ : جهد الموديول عند ( $M_{PP}$ ) (من اختبارات STC )

$\Delta v_{main}$ : نسبة هبوط الجهد بالكابل الرئيسي

$\Delta v_{string}$ : نسبة هبوط الجهد بكابل السلسلة

## ٢) كابلات تيار متردد (AC)

### I. كابل أحادي الطور (single-phase AC Cable)

تستخدم المعادلة التالية لحساب مقاس كابل تيار متردد/أحادي الطور

$$A_{AC,Cable} \geq (\,2.\,L_{Cable}\,.\,I_{nom,AC}\,.\cos\emptyset)/(\Delta v\,.\,V_{nom}\,.\,\mathrm{k})$$

### II. كابل ثلاثي الطور (3-phase AC Cable)

تستخدم المعادلة التالية لحساب مقاس كابل تيار متردد /ثلاثي الطور

$$A_{AC,Cable} \geq (\,\sqrt{3}.\,L_{Cable}\,.\,I_{nom,AC}\,.\cos\emptyset)/(\Delta v\;\;.\,V_{nom}\,.\,\mathrm{k})$$

**حيث :**

$A_{AC\ Cable}$ : مساحة مقطع الكابل (الوحدة : مم٢ )

$L_{Cable}$ : طول الكابل (الوحدة : متر )

$I_{nom,AC}$ : التيار المتردد الأسمي (تيار مخرج العاكس) (الوحدة : امبير )

$V_{nom}$ : جهد الشبكة (الجهد الأسمي لمخرج العاكس ) (الوحدة : فولت )

$\cos\emptyset$ : معامل القدرة

$k$ : الموصولية الكهربائية (الوحدة : متر / أوم . مم٢ )

$\Delta v$ : هبوط الجهد منسوبا الي الجهد الأسمي لمخرج العاكس (الوحدة : % )

**الخصائص والمتغيرات الكهربائية لبعض أنواع الكابلات :**

لكل نوع من الكابلات يجب تحديد الخصائص الآتية :

- مقنن الجهد
- مساحة مقطع الكابل
- عدد الموصلات بالكابل (core or conductor)
- مقنن التيار المسموح (permissible current rating)
- هبوط الجهد (voltage drop)
  يكون بوحدة فولت/أمبير.كم (v/A.km)
- أقصي مقاومة للموصل (max. resistance)
  تكون بوحدة : أوم/كم (Ω/km)

توضح الجداول التالية خصائص ومتغيرات بعض أنواع الكابلات طبقا لمُصنعين متعددين وجميعهم طبقا للمواصفات المطلوب العمل بها :

جدول (٥) سعة تيار التحميل طبقا للنوع وعدد الموصلات (أمبير)

جدول (٦) عامل خفض القدرة طبقا لدرجة الحرارة المحيطة

جدول (٧) سعة تيار التحميل طبقا لنوع الكابل (أمبير)

جدول (٨) الخصائص الكهربائية للكابلات أحادية الموصل

جدول (٩) الخصائص الكهربائية للكابلات المحتويه علي موصلين
جدول (١٠) الخصائص الكهربائية للكابلات ثلاثية الموصلات
جدول (١١) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات أربعة موصلات
جدول (١٢) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات خمسة موصل
جدول (١٣) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات عدد ١٢, ١٨, ٣٦ موصل

جدول (٥) سعة تيار التحميل طبقا للنوع وعدد الموصلات (أمبير)

| مساحة مقطع الموصل (مم٢) | كابل DC او احادي الطور AC (كابل يحتوي على موصلين بحماية أو بدون حماية) | كابل ثلاثي الطور AC (ثلاثة كابلات أحادية، كابل أربعة أو خمسة موصلات) | كابل أحادي DC او AC (٢ كابل أحادي متلامسين) |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 11 | 9.0 | -- |
| 1.5 | 17 | 15.0 | -- |
| 2.5 | 27 | 24.0 | -- |
| 4.0 | 41 | 36.0 | -- |
| 6.0 | 53 | 47.0 | -- |
| 10.0 | 73 | 64.0 | -- |
| 16.0 | 99 | 86.0 | -- |
| 25.0 | 131 | 114.0 | -- |
| 35.0 | -- | 140.0 | 192 |
| 50.0 | -- | 170.0 | 240 |
| 70.0 | -- | 216.0 | 297 |
| 95.0 | -- | 262.0 | 354 |
| 120.0 | -- | 303.0 | 414 |
| 150.0 | -- | 348.0 | 476 |
| 185.0 | -- | 397.0 | 540 |
| 240.0 | -- | 467.0 | 645 |
| 300.0 | -- | 537.0 | 741 |
| 400.0 | -- | -- | 885 |
| 630.0 | -- | -- | 1190 |

Source: www.eland.co.uk

- درجة الحرارة المحيطة : 30° C
- درجة حرارة تشغيل الموصلات : 85° C

جدول (٦) عامل خفض القدرة طبقا لدرجة الحرارة المحيطة

| درجة الحرارة المحيطة | 35 C° | 40 C° | 45 C° | 50 C° | 55 C° | 60 C° | 65 C° | 70 C° | 75 C° | 80 C° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عامل خفض القدرة | 0.95 | 0.91 | 0.88 | 0.82 | 0.76 | 0.70 | 0.64 | 0.57 | 0.50 | 0.40 |

جدول (٧) سعة تحميل الكابلات (التيار)

| مساحة مقطع الموصل مم٢ | كابلات التيار المستمر او تيار متردد أحادي الوجه (كابل يحتوي علي موصلين يشتمل علي أو بدون موصل حماية ) (أمبير) | ACكابلات ثلاثية الأوجه (كابل يحتوي علي ٣ او ٤ او ٥ موصلات ) (أمبير) |
|---|---|---|
| 1 | 11 | 9 |
| 1.5 | 17 | 15 |
| 2.5 | 27 | 24 |
| 4 | 41 | 36 |
| 6 | 53 | 47 |
| 10 | 73 | 64 |
| 16 | 99 | 86 |
| 25 | 131 | 114 |
| 35 | 140 | 192 |
| 50 | 170 | 240 |
| 70 | 216 | 297 |
| 95 | 262 | 354 |
| 120 | 303 | 414 |
| 150 | 348 | 476 |
| 185 | 397 | 540 |
| 240 | 467 | 645 |
| 300 | 537 | 741 |
| 400 | - | 885 |
| 630 | - | 1190 |

جدول (٨) الخصائص الكهربائية للكابلات أحادية الموصل

| أقصي مقاومة (أحادي الطور) Km / Ω | هبوط الجهد (أحادي الطور) (V/A. Km) | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | مساحة مقطع الكابل mm2 |
|---|---|---|---|
| 13.3 | 23.3 | 23 | 1.5 |
| 7.98 | 14.0 | 32 | 2.5 |
| 4.95 | 8.7 | 43 | 4.0 |
| 3.3 | 5.9 | 56 | 6.0 |
| 1.91 | 3.4 | 77 | 10.0 |
| 1.21 | 2.2 | 102 | 16.0 |
| 0.78 | 1.4 | 136 | 25.0 |
| 0.554 | 1.04 | 168 | 35.0 |
| 0.386 | 0.75 | 203 | 50.0 |
| 0.272 | 0.56 | 254 | 70.0 |
| 0.161 | 0.36 | 363 | 120.0 |
| 0.129 | 0.31 | 416 | 150.0 |
| 0.106 | 0.28 | 475 | 185.0 |
| 0.0801 | 0.23 | 559 | 240.0 |
| 0.0641 | 0.20 | 637 | 300.0 |
| 0.0384 | 0.16 | 833 | 500.0 |

Source: www.nexans.fr/e-service

جدول (٩) الخصائص الكهربائية للكابلات المحتويه علي موصلين

| مساحة مقطع الكابل mm2 | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | هبوط الجهد (احادي الطور) (V/A. Km) | اقصي مقاومة (احادي الطور) Km / Ω |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 18 | 39.4 | 19.5 |
| 1.5 | 23 | 27.0 | 13.3 |
| 4.0 | 43 | 10.1 | 4.95 |
| 6.0 | 56 | 6.7 | 3.3 |
| 10.0 | 77 | 3.8 | 1.91 |
| 16.0 | 102 | 2.5 | 1.21 |
| 25.0 | 136 | 1.68 | 0.78 |

جدول (١٠) الخصائص الكهربائية للكابلات ثلاثية الموصلات

| مساحة مقطع الكابل mm2 | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | هبوط الجهد (أحادي الطور) (V/A. Km) | أقصي مقاومة (أحادي الطور) Km / Ω |
|---|---|---|---|
| 1.5 | 23 | 27.0 | 13.3 |
| 2.5 | 32 | 16.2 | 7.98 |
| 6.0 | 56 | 7.0 | 3.3 |
| 10.0 | 77 | 4.0 | 1.91 |
| 16.0 | 102 | 2.5 | 1.21 |
| 25.0 | 136 | 1.7 | 0.78 |
| 35.0 | 168 | 1.21 | 0.554 |
| 50.0 | 203 | 0.87 | 0.386 |
| 70.0 | 262 | 0.64 | 0.272 |
| 95.0 | 320 | 0.5 | 0.206 |

| 120.0 | 373 | 0.4 | 0.161 |
|---|---|---|---|
| 150.0 | 432 | 0.35 | 0.129 |
| 185.0 | 495 | 0.3 | 0.106 |
| 240.0 | 587 | 0.26 | 0.08 |
| 300.0 | 680 | 0.22 | 0.064 |

جدول (١١) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات أربعة موصلات

| مساحة مقطع الكابل mm2 | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | هبوط الجهد (أحادي الطور) (V/A. Km) | أقصي مقاومة (أحادي الطور) Km / Ω |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 16 | 34.08 | 19.5 |
| 1.5 | 21 | 23.3 | 13.3 |
| 2.5 | 29 | 14.0 | 7.98 |
| 4.0 | 38 | 8.71 | 4.95 |
| 6.0 | 50 | 5.84 | 3.3 |
| 10.0 | 68 | 3.42 | 1.91 |
| 16.0 | 92 | 2.2 | 1.21 |
| 25.0 | 122 | 1.44 | 0.78 |
| 35.0 | 150 | 1.04 | 0.554 |
| 50.0 | 182 | 0.75 | 0.386 |
| 70.0 | 232 | 0.56 | 0.272 |
| 95.0 | 281 | 0.44 | 0.206 |
| 120.0 | 325 | 0.36 | 0.161 |
| 150.0 | 373 | 0.31 | 0.129 |
| 185.0 | 425 | 0.28 | 0.106 |
| 240.0 | 500 | 0.23 | -- |

جدول (١٢) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات خمسة موصلات

| مساحة مقطع الكابل mm2 | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | هبوط الجهد (أحادي الطور) (V/A. Km) | أقصي مقاومة (أحادي الطور) Km / Ω |
|---|---|---|---|
| 1.0 | 16 | 34.1 | 19.5 |
| 1.5 | 21 | 23.6 | 13.3 |
| 2.5 | 29 | 14.0 | 7.98 |
| 4.0 | 38 | 8.72 | 4.95 |
| 6.0 | 50 | 5.84 | 3.3 |
| 10.0 | 68 | 3.43 | 1.91 |
| 16.0 | 92 | 2.2 | 1.21 |
| 25.0 | 122 | 1.44 | 0.78 |

جدول (١٣) الخصائص الكهربائية للكابلات ذات العدد ١٢, ١٨ , ٣٦ موصل

| عدد الموصلات بالكابل | مساحة مقطع الكابل mm2 | مقنن التيار المسموح (تركيب في الهواء) (Amp) | هبوط الجهد (أحادي الطور) (V/A. Km) | أقصي مقاومة (أحادي الطور) Km / Ω |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 1.5 | 11 | 23.3 | 13.3 |
| 18 | 1.5 | 9 | 20.7 | 13.3 |
| 36 | 1.5 | 6 | | 13.3 |

يوضح الجدولان (١٤) & (١٥) مقاس الكابلات (مم٢) بين الحمل ( أو الاحمال ) والبطارية باستخدام بيانات : طول الكابل بالمتر ، وقدرة الحمل ( أو الأحمال ) بالوات أو بالأمبير وذلك للجهد ١٢ فولت و٢٤ فولت على التوالى .

( ملحوظة : فى حالة توصيل أحمال لها تيار بداية عالى مثل : الثلاجات والديب فريزر والطلمبات و ..... ، عندئذ يختار الصف ( فى الجدول ) المحتوى على ضعف قدرة الأحمال ، مثلا لثلاجة قدرة ٦٠ وات ، يستخدم صف القدرة ١٢٠ وات . ولا تطبق هذه الملاحظة فى حالة مراوح السقف أو مراوح المكتب لأن محركها يعمل على حمل صغير جدا )

# جدول (١٤) مقاس كابلات جهد ١٢ فولت

# 12 V Wire sizing table _ standards Wire (metric)

| load | | Distance between battery and load (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| W | A | Standard size wire needed (mm2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 0.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 10 | 0.8 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 12 | 1.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 13 | 1.1 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 15 | 1.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 18 | 1.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| 20 | 1.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 |
| 22 | 1.8 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 |
| 24 | 2.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 28 | 2.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 30 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 32 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| 34 | 2.8 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 |
| 36 | 3.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 38 | 3.2 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

| 40 | 3.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | 3.8 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 48 | 4.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| 50 | 4.2 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| 55 | 4.6 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 60 | 5.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| 65 | 5.4 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 |
| 70 | 5.8 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| 72 | 6.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 75 | 6.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 80 | 6.7 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 |
| 84 | 7.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 |
| 85 | 7.1 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 |
| 90 | 7.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 96 | 8.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 |
| 100 | 8.3 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 |
| 108 | 9.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 16 |
| 110 | 9.2 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 16 |
| 120 | 10.0 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 |
| 130 | 10.8 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **140** | **11.7** | **2.5** | **2.5** | **4** | **4** | **6** | **6** | **8** | **8** | **10** | **10** | **12** | **12** | **14** | **14** | **14** | **16** | **16** | **18** | **18** | **20** |
| **150** | **12.5** | **2.5** | **2.5** | **4** | **4** | **6** | **6** | **8** | **8** | **10** | **10** | **12** | **12** | **14** | **14** | **16** | **16** | **18** | **18** | **20** | **20** |
| **160** | **13.3** | **2.5** | **2.5** | **4** | **6** | **6** | **8** | **8** | **10** | **10** | **12** | **12** | **14** | **14** | **16** | **16** | **18** | **20** | **20** | **22** | **22** |
| **170** | **14.2** | **2.5** | **2.5** | **4** | **6** | **6** | **8** | **8** | **10** | **12** | **12** | **14** | **14** | **16** | **16** | **18** | **20** | **20** | **22** | **22** | **24** |
| **180** | **15.0** | **2.5** | **2.5** | **4** | **6** | **6** | **8** | **10** | **10** | **12** | **12** | **14** | **16** | **16** | **18** | **18** | **20** | **22** | **22** | **24** | **24** |
| **190** | **15.8** | **2.5** | **4** | **4** | **6** | **8** | **8** | **10** | **12** | **12** | **14** | **14** | **16** | **18** | **18** | **20** | **22** | **22** | **24** | **26** | **26** |
| **200** | **16.7** | **2.5** | **4** | **4** | **6** | **8** | **8** | **10** | **12** | **12** | **14** | **16** | **16** | **18** | **20** | **20** | **22** | **24** | **24** | **26** | **28** |
| **220** | **18.3** | **2.5** | **4** | **6** | **6** | **8** | **10** | **12** | **12** | **14** | **16** | **18** | **18** | **20** | **22** | **22** | **24** | **26** | **28** | **28** | **30** |
| **240** | **20.0** | **2.5** | **4** | **6** | **8** | **8** | **10** | **12** | **14** | **16** | **16** | **18** | **20** | **22** | **24** | **24** | **26** | **28** | **30** | **32** | **32** |
| **260** | **21.7** | **2.5** | **4** | **6** | **8** | **10** | **12** | **14** | **14** | **16** | **18** | **20** | **22** | **24** | **26** | **26** | **28** | **30** | **32** | **32** | **32** |
| **280** | **23.3** | **2.5** | **4** | **6** | **8** | **10** | **12** | **14** | **16** | **18** | **20** | **22** | **24** | **26** | **28** | **28** | **30** | **32** | **32** | **32** | **32** |
| **300** | **25.0** | **2.5** | **4** | **6** | **8** | **10** | **12** | **14** | **16** | **18** | **20** | **22** | **24** | **26** | **28** | **30** | **32** | **32** | **32** | **32** | **32** |

## جدول (١٥) مقاس كابلات جهد ٢٤ فولت

## 24 V Wire sizing table _ standards Wire (metric)

| Load | | Distance between battery and load (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| W | A | Standard size wire needed (mm2) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *100* | *4.2* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3.5 | 4.5 | 5.5 | 6.5 | 7.5 |
| *100* | *4.2* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *110* | *4.6* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *120* | *5* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *130* | *5.4* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| *140* | *5.8* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 |
| *150* | *6.3* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| *160* | *6.7* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| *170* | *7.1* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| *180* | *7.5* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| *190* | *7.9* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| *200* | *8.3* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 |
| *220* | *9.2* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| *240* | *10* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| *260* | *10.8* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 |
| *280* | *11.7* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 |
| *300* | *12.5* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| *350* | *14.6* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 |
| *400* | *16.7* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 |
| *450* | *18.8* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 |
| *500* | *20.8* | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 18 |
| *550* | *22.9* | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 | 20 |
| *600* | *25* | 2.5 | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 |
| *650* | *27.1* | 2.5 | 2.5 | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 16 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 22 | 22 |
| *700* | *29.2* | 2.5 | 2.5 | 4 | 6 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 12 | 14 | 14 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 22 | 24 | 24 |
| *750* | *31.3* | 2.5 | 2.5 | 4 | 6 | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 14 | 14 | 16 | 18 | 18 | 20 | 20 | 22 | 24 | 24 | 26 |
| *800* | *33.3* | 2.5 | 4 | 4 | 6 | 8 | 8 | 10 | 12 | 12 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 20 | 22 | 24 | 24 | 26 | 28 |
| *850* | *35.4* | 2.5 | 4 | 6 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 20 | 22 | 24 | 26 | 26 | 28 | 30 |
| *900* | *37.5* | 2.5 | 4 | 6 | 6 | 8 | 10 | 12 | 12 | 14 | 16 | 18 | 18 | 20 | 22 | 24 | 24 | 26 | 28 | 30 | 30 |
| *950* | *39.6* | 2.5 | 4 | 6 | 8 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 32 |
| *1000* | *41.7* | 2.5 | 4 | 6 | 8 | 10 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 30 | 32 | 32 |

**مثال لكابلات المحطة الشمسية**

خصائص الكابلات (H07RN-F)

(Harmonized Flexible Rubber Heavy Duty Trailing Cable)

الموصل : نحاس مرن لدن (Plain annealed flexible copper)

مادة العزل : بروبولين أثيلين (Ethylene propylene rubber) (EPR)

الغلاف الخارجى : بولى كلوروبرين (Polychloroprene) (PCP)

الجهد : ٤٥٠ / ٧٥٠ فولت

درجة حرارة التشغيل : أقصى ٦٠ درجة مئوية

# الباب العاشر
# الاجهزة المساعدة للمحطات الفوتوفلتية
# Assistive devices for PV plants

**فكرة الأنظمة الفوتوفلتية**

تتكون أنظمة الفوتوفلتية المستقلة من أربعة مكونات رئيسية هي :

- الخلايا الشمسية وهي المسئولة عن انتاج الكهرباء
- البطاريات لتخزين الطاقة الكهربائية
- المنظم (المتحكم) لحماية البطاريات ضد الشحن والتفريغ الزائد
- الأحمال: وهي الأجهزة الكهربائية المغذاة من النظام

عند الحاجة لمصدرتيار متردد لتغذية أجهزة كهربائية ، يضاف عاكس لتحويل التيار المستمر الى تيار متردد.

بينما تتكون أنظمة الفوتوفلتية المتصلة بالشبكة من:

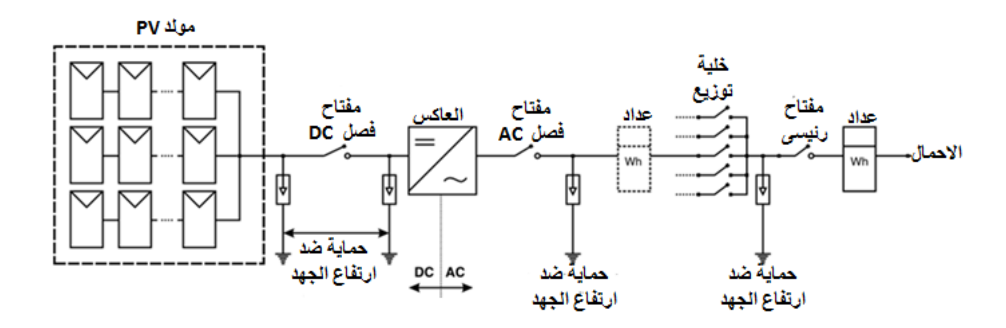
- الخلايا الشمسية
- عاكس لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد.

يلزم إضافة معدات أمان (اجهزة مساعدة) للأنظمة تشمل : التوصيلات المناسبة، وقواطع التيار، ومانعات صواعق، ومصهرات، وقضيب أرضي، وكذلك مانعات الجهود العابرة.

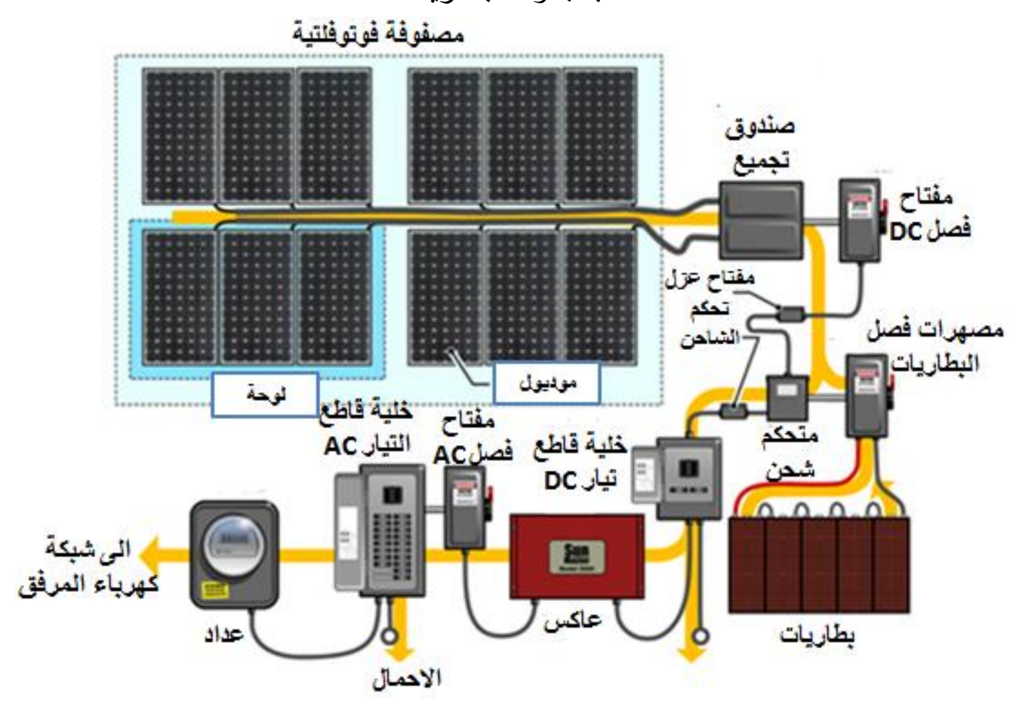
وقد عرضت الأبواب السابقة جميع المكونات ماعدا معدات الأمان (أو المعدات المساعدة) وفي هذا الباب سنتعرض لهذه المعدات وهي:

- مفاتيح رئيسية (تيار مستمر)
- مصهرات وقواطع تيار
- مفاتيح فاصل (تيار متردد)
- مانعات الجهود العابرة
- صندوق تجميع
- أنظمة توصيل (رباطات)
- مواسير
- الأرضي والتأريض
- العدادات.

يوضح شكل (١) مكونات نظام فوتوفلتية مربوط بالشبكة العامة للكهرباء
ويوضح شكل (٢) مكونات نظام فوتوفلتية مربوط بالشبكة العامة للكهرباء ومزود بمجموعة بطاريات




شكل (١) مكونات نظام فوتوفلتية مربوط بالشبكة العامة للكهرباء
شكل (٢) مكونات نظام فوتوفلتية مربوط بالشبكة العامة للكهرباء ومزود بمجموعة بطاريات



١. **مفتاح رئيسي تيار مستمر (DC main switch)**

عند حدوث عطل أوعند إجراء أعمال الصيانة والاصلاح يجب عزل العاكس من جهة مولد الفوتوفلتية. ويستخدم مفتاح DC لهذا الغرض، طبقا للمواصفات القياسية

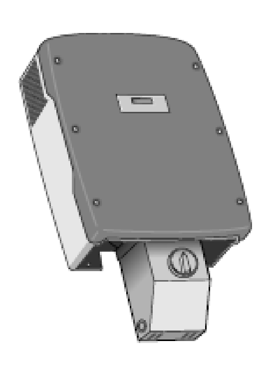
IEC 60364-7-712 الخاصة بـ "الإنشاءات الكهربائية للمباني- أنظمة مصادر تغذية الفوتوفلتية" كما يجب تركيب مفتاح حمل بين العاكس ومولد PV . يوضح شكل (٣) مفتاح فصل تيار مستمر

ويوضح شكل (٤) عاكس يحتوي على فاصل (مفتاح) داخله.

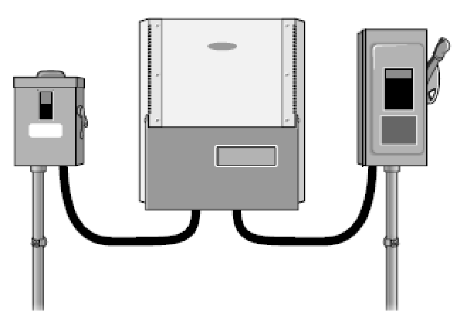
كما يوضح شكل (٥) فاصل (مفتاح) مركب بجوار العاكس.




شكل (٣) مفتاح فصل تيار مستمر



شكل (٤) عاكس يحتوي على فاصل (مفتاح) داخله



شكل (٥) فاصل (مفتاح) مركب بجوار العاكس

٢. **المصهرات (Fuses)**

يعتبر المصهر أداة وقائية لحماية الدائرة الكهربائية، حيث ينصهر إذا مر خلاله تيار مرتفع القيمة يصل إلى درجة الخطورة فتفتح الدائرة. يوجد العديد من مصهرات التيار المستمر DC أو التيار المتردد AC وعند مستويات جهود مختلفة . ويجب التأكد من مناسبة مقنن التيار والجهد DC عند استخدامه من جهة DC لنظام الفوتوفولتية.

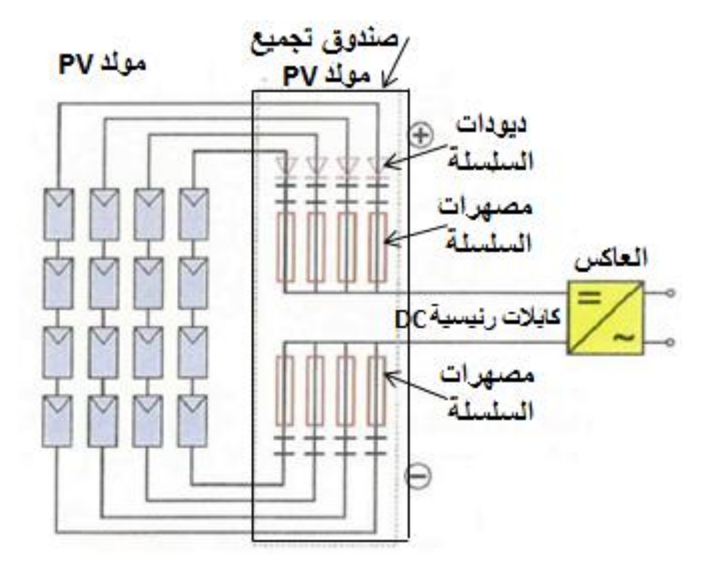
تركب المصهرات في أماكن متعددة، أما الأماكن شائعة الاستخدام فهي داخل صندوق تجميع دوائر مصدرPV، وبداخل العاكس للتوصيلات بين موصلات مخرج PV والعاكس. وللمصهرات فوائد جيدة في حالة ما إذا كان مخرج العاكس غير متصل بالشبكة العامة من خلال قاطع تيار، فيكون المصهر حماية ضد زيادة التيار بالاضافة إلى فاصل العاكس وذلك داخل وحدة واحدة. لحماية كابلات الموديول والسلسلة ضد زيادة الأحمال، تستخدم مصهرات سلسلة (string fuses) لجميع الكابلات غير المؤرضة (unearthed/ungrounded) (الكابلات الموجبة والسالبة). وفي حالة عدم استخدام مصهرات سلسلة، عندئذ يجب أن يكون مقاس موصلات السلسلة تتحمل أقصى تيار دائرة قصر مطروحا منه تيار السلسلة.

يوضح شكل (٦) بعض أنواع المصهرات

ويوضح شكل (٧) موضع تركيب مصهرات السلسلة فى صندوق تجميع مولد الفوتوفلتية.



شكل (٦) المصهرات




شكل (٧) موضع تركيب مصهرات السلسلة

٣. **<u>مفتاح فاصل AC (AC switch disconnector)</u>**

عبارة عن مفتاح AC له طرفين Double-pole، كما له ملصق بيان واضح وقابل للزرجنة في وضع الفصل. فإذا كان العاكس مركبا في حجرة منفصلة عندئذ يحتاج إلى فاصل آخر بجوار العاكس.

**٣-١ <u>قواطع تيار منمنمه (MCBs) (Miniature circuit breakers)</u>**

عبارة عن معدة حماية ضد زيادة التيار. حيث تقوم بعزل نظام الفوتوفلتية أتوماتيكيا عن شبكة الكهرباء العامة عند حدوث زيادة حمل أو دوائر قصر. وغالبا تستخدم قواطع التيار الأتوماتيكية لفصل التيار المتردد (AC)

## ٣-٢ قواطع التسريب الأرضي (Earth leakage circuit breakers)

هذه القواطع تراقب أجهزة التسريب الأرضي (أو أجهزة التيار المتبقي residual current) من حيث التيارالمار في موصلات الدائرة الكهربائية (في الاتجاهين الأمامي والعودة). فاذا زاد عن ٣٠ مللي أمبير فإن جهاز التسريب الأرضي سوف يفصل الدائرة في خلال ٠,٢ ثانية . كما يفصل جهاز التسريب الأرضي الدائرة الكهربائية إذا حدث: عطل بالعازل، أو حدث تلامس بين الجسم أو الأرضي مع الموصلات . وهذا ليس اجباريا لأن أغلب العاكسات تفصل مع حدوث عطل أرضي.

## ٤. مانعات الجهود العابرة (Surge Arrestors)

هي أداة وقاية مصممة أساسا لتوصيل أي جزء موصل في جهاز كهربي مع الارض للحد من قيمة الجهود العالية العابرة بالأجهزة.

يمكن تشبيه مانعة الصواعق بـ "زرجينة أو مشد clamp" في أغلب الحالات، حيث يتم توصيل أحد طرفيها على السلك الحي (كهرباء) والآخر يتصل بالأرض.

ففي الحالات المستقرة للشبكة الكهربائية لا تعمل المانعات، ولكن عند وصول الجهد لقيمة أعلى من مستوى محدد، يصبح المانع كموصل، ويفرغ هذا الجهد الى الأرض.

وتستخدم مانعات الجهود العابرة لحماية انظمة الفوتوفلتية وجميع الأجهزة الإلكترونية المتصلة بها من جهة الأحمال والشبكة الكهربائية ضد:

- زيادة الجهد (overvoltage)

هي الزيادة في الجهد بين موصل ما والأرض والذي قد يرجع إلى الظروف العابرة التي تتعرض لها شبكات الكهرباء

- الربط السعوي (capacitive coupling)

هو وجود دائرتين كهربائيتين بينهما مكثف ويتم تبادل الطاقة بين الدائرتين.

- الربط الحثي (inductive coupling)

هو ربط دائرتين نتيجة محاثة تبادلية تصدر من محول

في أغلب الأنظمة للوصول إلى الوقاية الأفضل، تركب مانعة صواعق DC، على جهة مخرج المصفوفة، اي مدخل متحكم الشحن، والذي يجب أن يكون أقرب مايمكن لمتحكم الشحن، على جانب AC يتم تركيب مانعة صواعق AC، وتركب،عادة، مانعات الصواعق في صندوق توصيل المصفوفة.

تحدث أغلب أعطال العاكس بسبب الجهود العابرة جهة AC القادمة من الأحمال أو توصيلات المولد. وتشتمل كثير من الأنظمة على مولدات احتياطية، ويركب المولد بمكان خارج المبنى، بعيدا بمسافة عن العاكس، وهذه نقطة شائعة التعرض للصواعق.

يوضح شكل (٨) نموذج لمانعة الجهود العابرة

كما يوضح شكل (٩) مانعة جهود عابرة مركبة داخل صندوق التوصيلات .




شكل (٨) نموذج لمانعة الجهود العابرة



شكل (٩) مانعة جهود عابرة مركبة داخل صندوق التوصيلات

وفي حالة تعرض نظام الفوتوفلتية إلى مخاطر الصواعق (lightening)، تركب مانعات صواعق قبل وبعد العاكس.
طبقا للمواصفات الالمانية- الجزء ٦ – DIN VDE 0675 ، يوجد نوعان من المانعات هما

- النوع الأول (class I)
  يمكن أن تفرغ المانعات تيار الصواعق مباشرة، وتستخدم في حالة التعرض لمخاطر الصواعق
- النوع الثاني (class II)
  تستخدم المانعات عادة على الجانبين AC ، DC لها المقدرة على تحمل تيارات عابرة حتى 1 KA
  لكل 1 KW

يجب أن يتوافق جهد تشغيل (Vc) المانعات على الأقل مع جهد الدائرة المفتوحة لمصفوفة الفوتوفلتية . كما يجب أن يكون جهد التشغيل Vc(DC) للمانعات أكبر بـ ١٠% من أقصى جهد للدائرة المفتوحة للمصفوفة (نموذجيا يكون أكبر بـ ١٥% من حالة الاختبار القياسى STC) أي أن:

$$V_{c\,(DC)} >= 1.25 * V_{LSTC}$$

يوضح جدول (١) نوع ومقنن الجهد لكل من مانعات الجهود AC ، DC

جدول (١) نوع ومقنن جهد مانعات الجهود العابرة

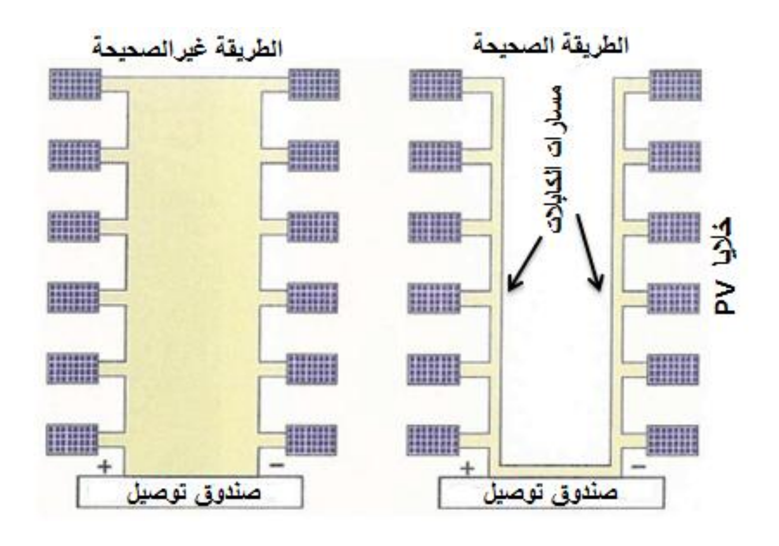
| النـــــوع | مقننات الجهد للمانعات (فولت) | |
|---|---|---|
| | Vc(AC) | Vc(DC) |
| 75 | 75 | 100 |
| 150 | 150 | 200 |
| 275 | 275 | 350 |
| 320 | 320 | 420 |
| 440 | 440 | 585 |
| 600 | 600 | 600 |

توصل المانعات بين كل طور(phase ) والأرض . وفي حالة النوع الثاني (class II) فإن جهد البداية أو الدفع (inception and build up) يجب أن يكون ١,٤ مرة من أقصى جهد للـ PV. أما في حالة الأنظمة التي يمكن أن تتعرض للصواعق فيكون من الأهمية استخدام الأنواع المحتوية على أجهزة عزل حراري (thermal isolating devices) ومبينات أعطال (Fault indicators) كما يجب مراعاة وملاحظة الآتي أثناء تركيب نظام الفوتوفلتية، وذلك للحماية ضد الصواعق الخارجية:

- هل توجد بروزات على سطح المبنى ؟
- مساحة سطح مولد الفوتوفلتية أكبر من ١٥ م٢.
- هل يحتوي المبنى على معدات تكنولوجية لبيانات ذات قيمة ولها متطلبات اتاحيةعالية ويوجد نظام تغذية خلفية ؟
- حماية تكنولوجيات الأمان الكهربي (مثل انذار الحريق – تكنولوجيات الأمن ....)

حيث أن كل اشعال صاعقة (Lightning strike) يخلق تأثيرات غير مباشرة في المساحة المحيطة لدائرة محيطها ١ كم. ولذا يمكن ان تتأثر المباني بالصواعق غير المباشرة، ومن المحتمل أن تتأثر الأنظمة الفوتوفلطية خلال عمر تشغيلها عدة مرات نتيجة حدوث اشعال صاعقة بالمنطقة المحيطة بالنظام.

تحدث الصواعق جهود عابرة في موديولات الفوتوفلتية، وكابلات الموديولات وكابل التيار المستمر الرئيسي، ومستوى الجهود الحادثة في الموديولات ذات الهيكل المعدني تكون حوالي نصف قيمة مستويات الجهود الناتجة في الموديولات بدون هيكل معدني. ولتخفيض الجهود العابرة في كابلات الموديولات، يجب أن يكون مساركابلات الموجب والسالب للسلسلة قريبة من بعضها البعض بقدر الامكان، يوضح شكل (١٠) الطريقة الصحيحة والطريقة الخطأ لتوصيل كابلات التيار المستمر للسلسلة.




شكل (١٠) الطريقة الصحيحة والطريقة الخطأ لتوصيل كابلات التيار المستمر للسلسلة.

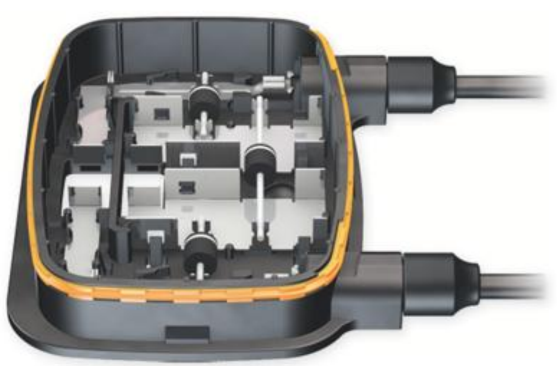
يجب أن تكون الجهود العابرة الحادثة في الكابل الرئيسي للتيار المستمر أقل مايمكن وذلك بأن تكون الكابلات الموجبة (+) والسالبة (-) قريبة جدا من بعضها . كما يوصى باستخدام كابلات مفردة مسلحة (shielded individual cables) للأنظمة التي تتعرض لمخاطر الصواعق. (الكابلات المسلحة تكون جميع موصلاتها المعزولة مغلفة بغلاف معدني موصل، بحيث يكون جهد كل نقطة من سطح العازل مساويا لجهد الأرض، أو بقيمة محددة مسبقا بالنسبة لجهد الأرض) ولايقل مقطع التسليح عن ١٦ مم٢ نحاس، ويوصل نهاية الطرف العلوي للتسليح بالهيكل المعدني من خلال أقصر مسار ممكن . كما يمكن استخدام مواسير حماية معدنية ، وفي حالة عدم استخدام كابلات مسلحة، تكون لمانعات الجهود العابرة تيار تسريب اسمي حوالي ١٠ ك. أمبير ويوصل الى الموصلات الفعالة، مع الكابلات المسلحة يكفي استخدام مانعات الجهد العابرة ذات تيار تسريب اسمي حوالي ١ ك.أمبير.

### ٥. صندوق التجميع (Junction box) or (Combiner Box)

تجمع كل الأسلاك الخارجة من موديولات الفوتوفلتية في صندوق التجميع كما فى شكل (١١)، ويبين شكل (١٢) ، (١٣) صندوق تجميع لمصفوفة ويحتوى على مكونات مختلفة ، هذه الأسلاك يمكن أن تكون موصلات أحادية القلب (single core) مجهزة بأطراف توصيل (ربط) والتي تكون مجهزة مسبقا بالموديولات.

نجد أن مخرج صندوق التجميع عبارة عن كابل واحد ذي مقطع كبير يحتوي على موصلين، كما يحتوي صندوق التجميع على مصهرات (Fuses) كأمان أو قاطع تيار لكل سلسلة ويمكن أن يحتوي على حماية ضد الجهود العابرة (surge).يجب أن يكون لصندوق التجميع او التوصيل درجة حماية لاتقل عن IP55 وحماية من الدرجة الثانية (class II).يوضح شكل (١٤) توصيلات صندوق التجميع

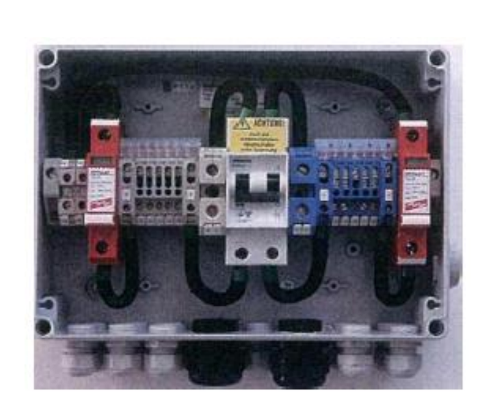
يضاف في الأنظمة الفوتوفلتية الكبيرة صندوق يحتوي على المصهرات ومجموعة المفاتيح الكهربائية (switchgear) ويوضع بجوار صندوق التجميع ، كما في شكل (١٥)



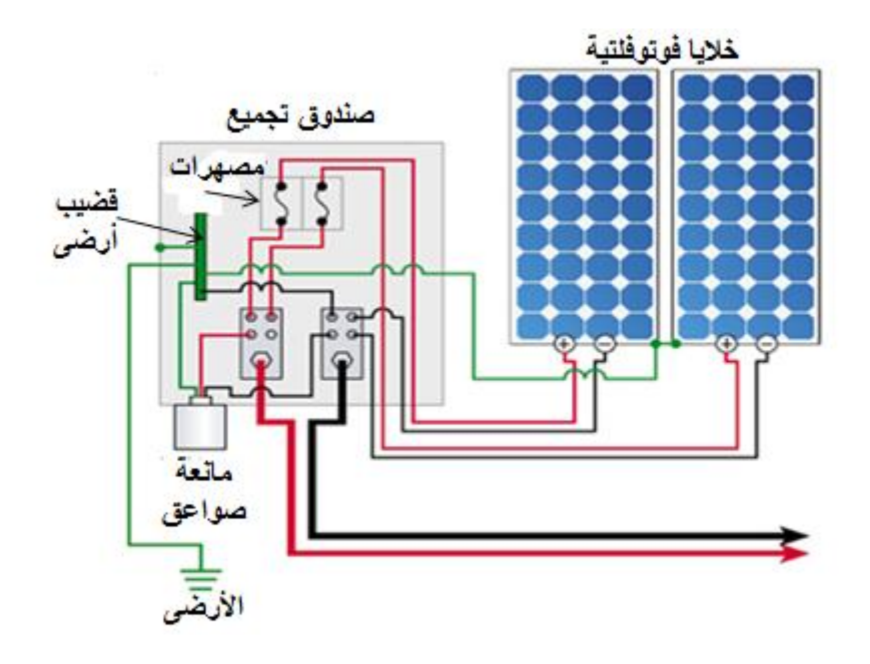
شكل (١١) صندوق تجميع



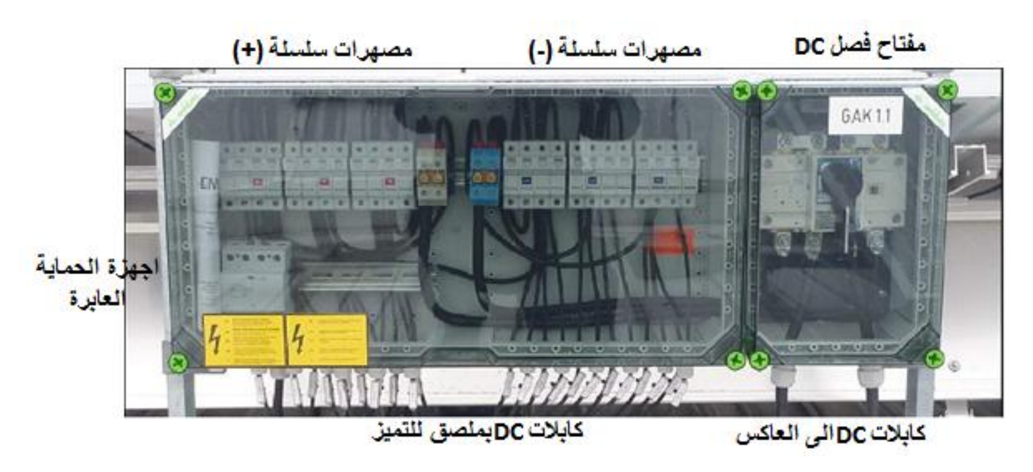
شكل (١٢)
صندوق تجميع لمصفوفة PV



شكل (١٣)
مثال آخر لصندوق التجميع




شكل (١٤) توصيلات صندوق التجميع




شكل (١٥) صندوق تجميع يحتوى على مصهرات ومفتاح وأجهزة الحماية العابرة

### ٦. أنظمة التوصيل (connection systems)

يجب أن نولي اهتماما زائداً عند توصيل كابلات سلسلة الموديولات وكابلات التيار المستمر، حيث أن التوصيلات السيئة تؤدي إلى حدوث قوس كهربي، ومزيد من التعرض لمخاطر الحريق.

ولتسهيل عملية تركيب الموديولات أصبح استخدام تكنولوجيا :" قابس ومقبس " (plug – and play) هي القياسية لنظم الاتصال بالشبكة حيث تستخدم قابسات اتصال (plug connectors) لها مقاومة تحويل أقل من ٥ مللي أوم ، ولذا عند مرور تيار ٥ أمبير ينتج هبوط جهد صغير جدا، أقل من ٠،٠٢٥ فولت.

يوضح شكل (١٦) أنواع مختلفة من أطراف توصيل قابسات صادرة (touch-prof plug connectors) وتركب باللمس.

ويبين شكل (١٧) نموذج أطراف توصيل قابسات لموديول

ويوضح شكل (١٨) نموذج أطراف توصيل قابسات على شكل حرف Y لتوصيل موديولين

بينما يوضح شكل (١٩) نموذج أطراف توصيل قابسات لتوصيل بطاريتين على التوازى

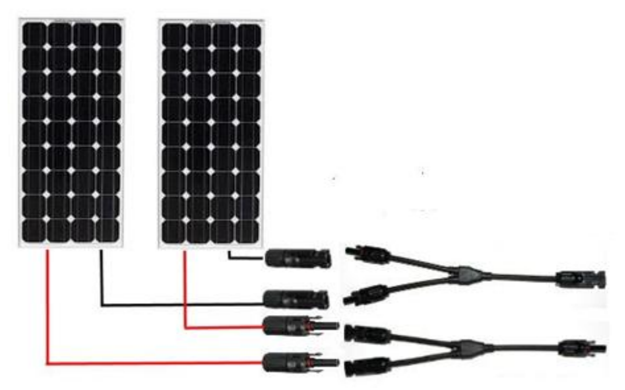
كذلك يوضح شكل (٢٠) نموذج أطراف توصيل قابسات لتوصيل مولد فوتوفلتية مع عاكس



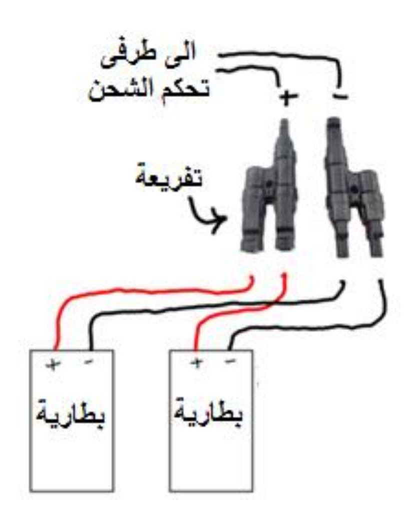
شكل (١٦) أنواع مختلفة من أطراف توصيل قابسات صادرة ( touch-prof plug connectors) وتركب باللمس.



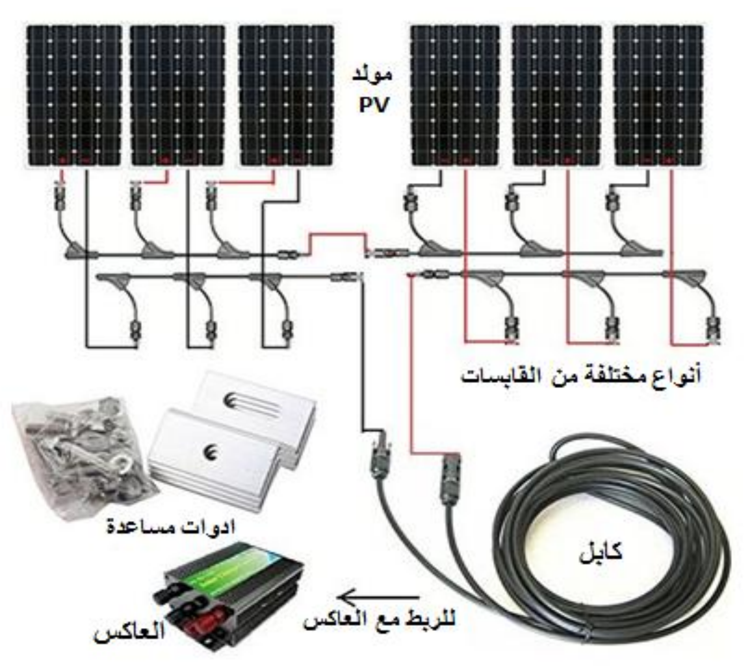
شكل (١٧) نموذج أطراف توصيل قابسات لموديول



شكل (١٨) نموذج أطراف توصيل قابسات على شكل حرف Y لتوصيل موديولين




شكل (١٩) نموذج أطراف توصيل قابسات لتوصيل بطاريتين على التوازى




شكل (٢٠) نموذج أطراف توصيل قابسات لتوصيل مولد فوتوفلتية مع عاكس

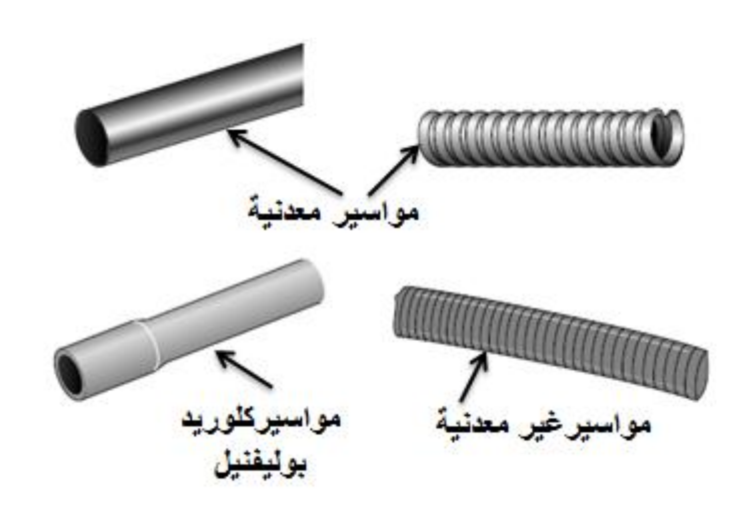
٧. **مواسير (Conduits)**

تحتاج أسلاك المحطة الفوتوفلتية للحماية من التعرض للصدمات والانهيار، ولذلك تستخدم مواسير.

ويوجد نوعان من المواسير:

- مواسير معدنية
- مواسير غير معدنية ، يوضح شكل (٢١) أمثلة لهذه الانواع

ويقوم كل من النوعين بحماية الموصلات ولكن يختلفا في الانشاءات ومتطلبات الاستخدام.




شكل (٢١) أنواع المواسير المستخدمة فى الأنظمة الفوتوفلتية

٨. **التأريض (Earthing)**

يعرف التأريض بأنه توصيل جزء من نظام أو أداة كهربائية توصيلا مباشرا بالأرض، وذلك للحماية ضد:

- الجهود المرتفعة
- الصواعق

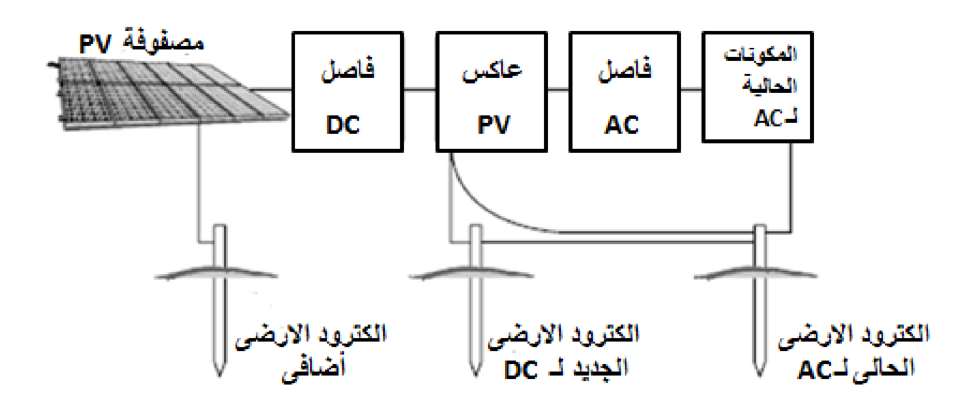
يوجد نوعان من التأريض:

- تأريض المعدات (جميع الأجزاء المعدنية )
- تأريض النظام :
  - توصيل الطرف السالب بالأرض لنظام DC
  - توصيل نقطة التعادل بالأرض لنظام AC

لتأمين تأريض الأجهزة والمعدات الكهربائية يلزم غرس عامود أو قضيب (Earthing pole) في الأرض وتوصل عن طريقة الأجهزة والمعدات الكهربائية بالأرض.
يخضع الأرضي للمواصفات القياسية IEC61936- 1/IEC2002- 10 .
يوضح شكل (٢٢) تمثيل الأرضى . ويوضح شكل (٢٣) نظام الأرضى لأنظمة فوتوفلتية مرتبطة بالشبكة العامة.



شكل (٢٢) تمثيل الأرضى




شكل (٢٣) نظام الأرضى لأنظمة فوتوفلتية مرتبطة بالشبكة العامة

## ٩.العدادات (Meters)

توجد أنوع من العدادات تستخدم مع الأنظمة الفوتوفلتية هي:

١. عداد الطاقة ك.و.س الخاص بمرفق الكهرباء
(قياس الصافي Net metering)

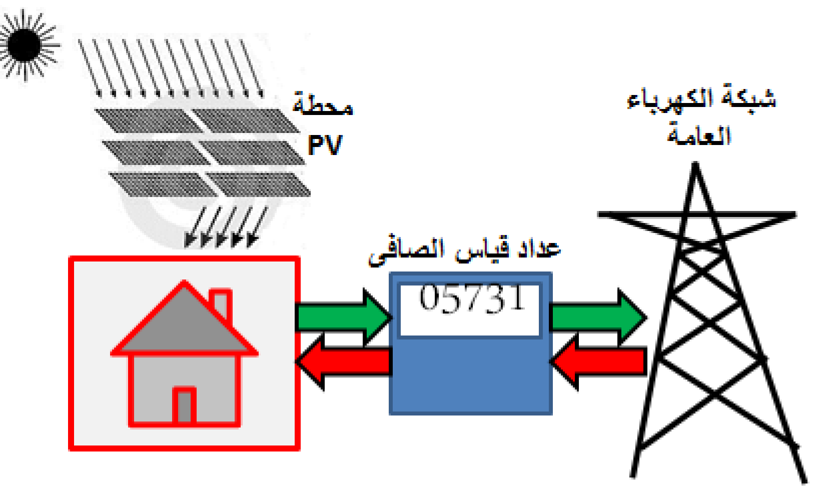
يستخدم هذا العداد لقياس الطاقة (ك.و.س) الموردة الى الشبكة أو الصادرة منها. يقوم مرفق الكهرباء بتركيب عداد طاقة ذي اتجاهين بشاشة رقمية لعرض تتبع الطاقة في كلا الاتجاهين، بعض مرافق الكهرباء تسمح باستخدام العداد التقليدي والذي يدور للأمام في حالة سحب طاقة كهربائية من الشبكة بينما يدور للخلف عند تغذية الشبكة العامة بالكهرباء من المحطة الشمسية.

يتلخص عمل العداد في:

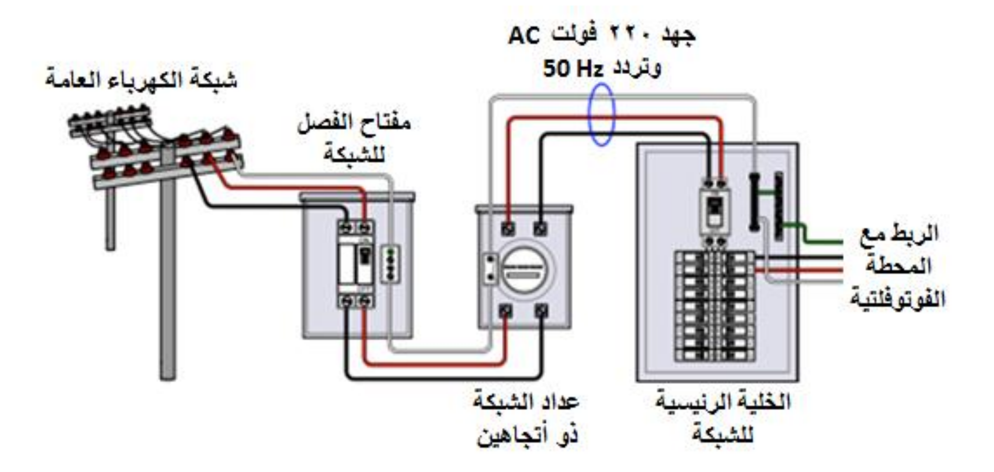
- تورد الطاقة الكهربائية الزائدة من المحطة الفوتوفلتية أتوماتيكيا إلى شبكة الكهرباء العامة
- عند غياب الطاقة الشمسية، تتغذى الأحمال الكهربائية من شبكة الكهرباء العامة
- يحاسب المشترك على صافي الطاقة الكهربائية المسجلة بالعداد.

يوضح شكل (٢٤) تمثيل عداد قياس الصافى

ويوضح شكل (٢٥) توصيلات عداد قياس الصافى ( ذو أتجاهين )




شكل (٢٤) تمثيل عداد قياس الصافى



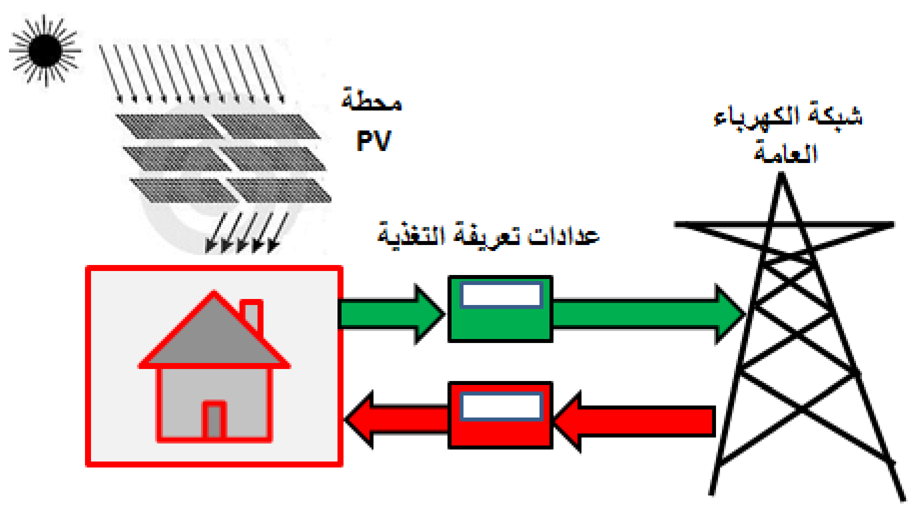

شكل (٢٥) توصيلات عداد قياس الصافى ( ذو أتجاهين )

٢. نظام تعريفة التغذية (Feed –in –tariff)

تتلخص وظائف هذا العداد في :

- تورد كل الطاقة الكهربائية المنتجة من المحطة الفوتوفلتية أتوماتيكيا إلى شبكة الكهرباء العامة
- تسحب الطاقة المستهلكة للمشترك من شبكة الكهرباء العامة.
- نظام تعريفة التغذية يحتاج إلى عدادين
- يبيع المشترك الطاقة الكهربائية لمرفق الكهرباء بتعريفة أعلى من التي يشتري بها الطاقة الكهربائية من مرفق الكهرباء

يوضح شكل (٢٦) تمثيل لعدادات تعريفة التغذية




شكل (٢٦) تمثيل لعدادات تعريفة التغذية

٣- عداد النظام

يقيس ويعرض هذا العداد أداء وحالة المحطة الشمسية. وتشمل شاشة العرض على الطاقة الكهربائية المنتجة من الموديولات، الطاقة الكهربائية المستهلكة، ..

يوضح شكل (٢٧) انواع العدادات شائعة الاستخدام







شكل (٢٧) انواع العدادات الشائعة

**<u>مقنن المصهرات وقواطع التيار</u>**

تمثل المصهرات وقواطع التيار معدات الحماية ضد ارتفاع التيار (Over current) ويتم تحديد مقنن التيار لهم كالاتي

(Current Ampacity) سعة الدائرة $= I_{max} \times 1.56$

مع ملاحظة

- كلمة Ampacity تعني سعة تحميل التيار (Current carrying capacity) بوحدة "أمبير".
- لجانب DC من الدائرة: يعوض عن $I_{max}$ بـ Is.c
- إذا كان المصهر مركب داخل صندوق التجميع (أو صندوق التوصيلات) يعوض بـ Is.c للموديولات
- مقاسات المصهرات القياسية هي: ....6,8,10,15,20,25,30 Amp

- عند حساب سعة الدائرة للمصهرات يؤخذ الرقم الأكبر من المحسوب
- الرقم (1.56) نتيجة الآتي:
  - لضمان دوام استمرار التيار يزاد أقصى تيار بنسبة ٢٥% أي أن:
    تيار دوام = Imax x1.25
    الاستمرار
  - لتجنب الفصل المزعج من التقلبات البسيطة للتيار، يزاد تيار دوام الاستمرار بنسبة ٢٥%أي أن :

$$(Current\ capacity) = I_{max} * 1.25 * 1.25$$

$$= I_{max} * 1.56$$

**اختيار فاصل التيار المستمر (DC disconnect)**

فاصل التيار المستمر هو عبارة عن مفتاح فصل/توصيل يدوي

- في حالة عدم استخدام صندوق تجميع (combiner box) فإن

(current capacity) سعة الدائرة $= I_{max} * 1.56$

- في حالة استخدام صندوق تجميع فإن

(o.c. Ampacity) سعة زيادة التيار = Imax*1.56*N

حيث

N=عدد السلاسل في المصفوفة

على أساس قيمة سعة زيادة التيار يمكن اختيار مقنن المصهرات المركبة داخل صندوق التجميع.

**اختيار فاصل التيار المتردد (AC disconnect)**

هذا الفاصل يكون بين العاكس والأحمال الكهربائية

تحسب سعة الدائرة (أمبير) من المعادلة

سعة الدائرة = I*1.25

حيث

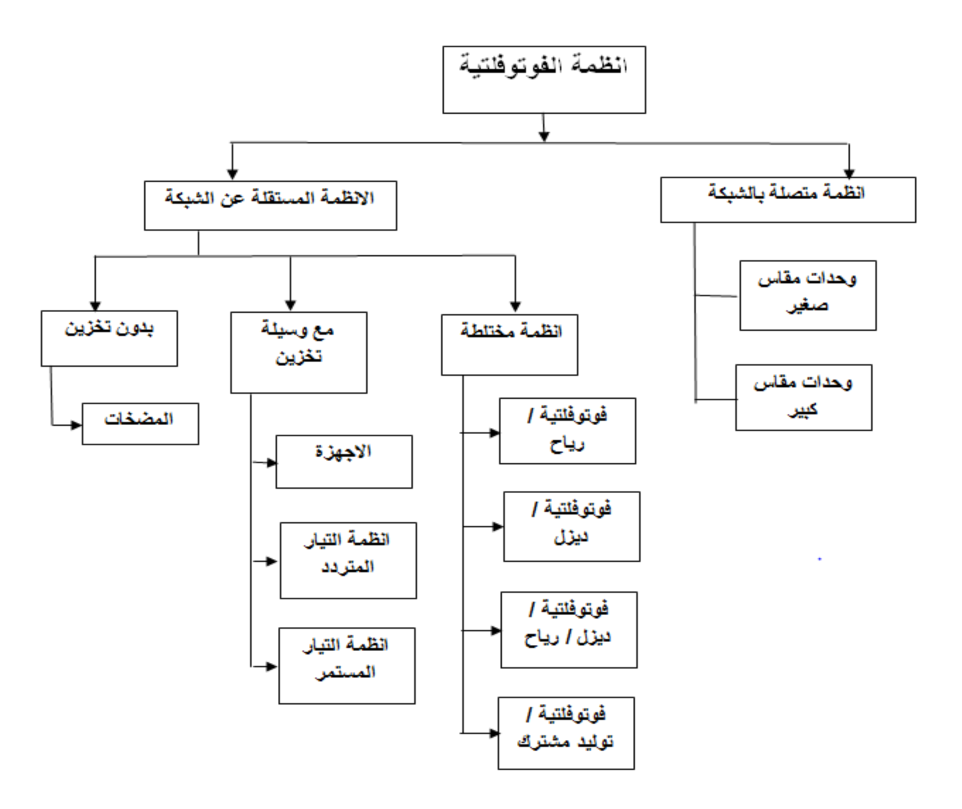
I= تيار مخرج (AC) العاكس (بوحدة أمبير)

# الباب الحادي عشر
# تصميم أنظمة فوتوفلتية مستقلة عن الشبكة
# Design of stand-alone PV systems

تنقسم الأنظمة الفوتوفلتية :

- أنظمة متصلة بالشبكة الكهربائية (grid-tie PV system)
- أنظمة مستقلة عن الشبكة الكهربائية (stand-alone PV system)

لكل من النظامين استخدامات وخصائص ومكونات خاصة به ، يوضح شكل (١) مخطط تصنيف الأنظمة الفوتوفلتية .




شكل (١) مخطط تصنيف الأنظمة الفوتوفلتية

توجد عدة نقاط يجب أن تؤخذ في الإعتبار عند تصميم محطة فوتوفلتية منها :

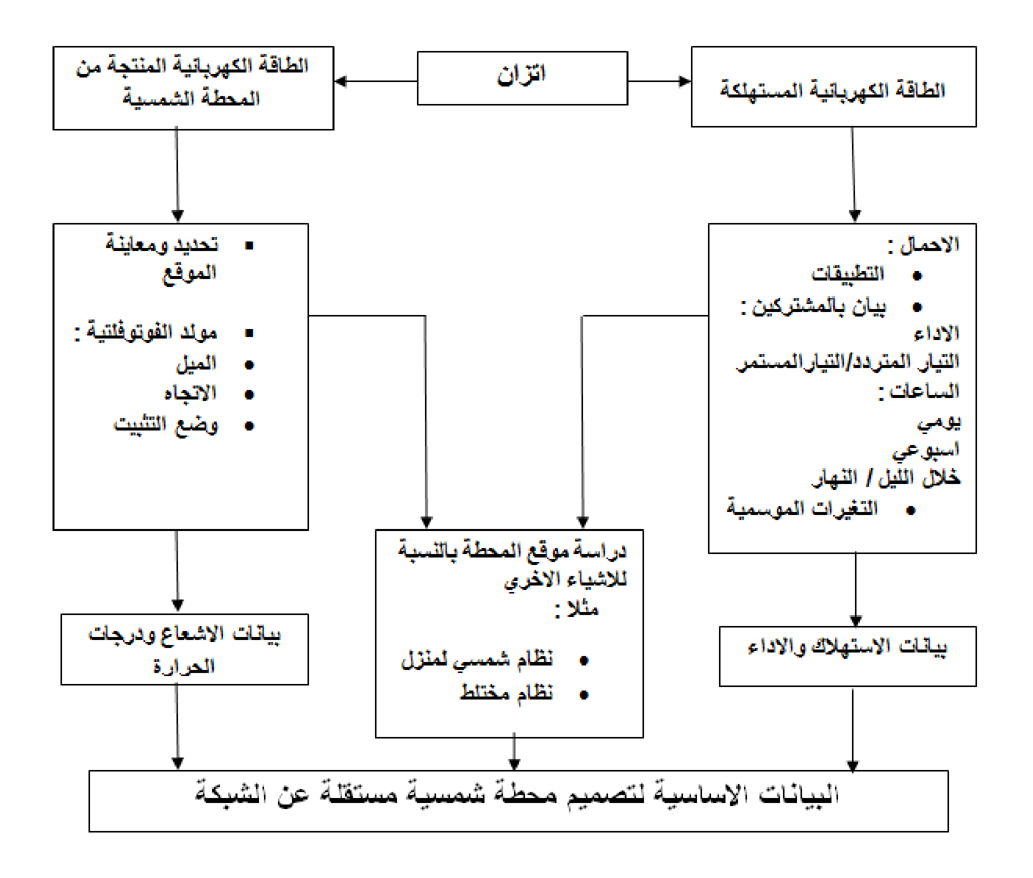
- تحديد الأحمال الكهربائية المطلوب تغذيتها من المحطة والتي لا تكون ثابتة خلال فترات اليوم الواحد
- التغير اليومي في الطاقة الكهربائية المستهلكة وذلك خلال العام
- الطاقة الكهربائية المتاحة من المحطة الشمسية والتي تكون متغيرة من وقت إلي آخر خلال اليوم
- الطاقة الكهربائية المتاحه من المحطة الشمسية والتي سوف تتغير من يوم إلي آخر خلال العام

ويعتمد نظام الفوتوفلتية علي الموديولات وبالتالي يجب أن يقارن بين الطاقة المتاحة من الشمس وطلب الطاقة الفعلي . يكون أسوء شهر( من حيث الطاقة المتاحة ) هو المقابل لأصغر نسبة بين الطاقة المتاحة من الشمس وطلب الطاقة .

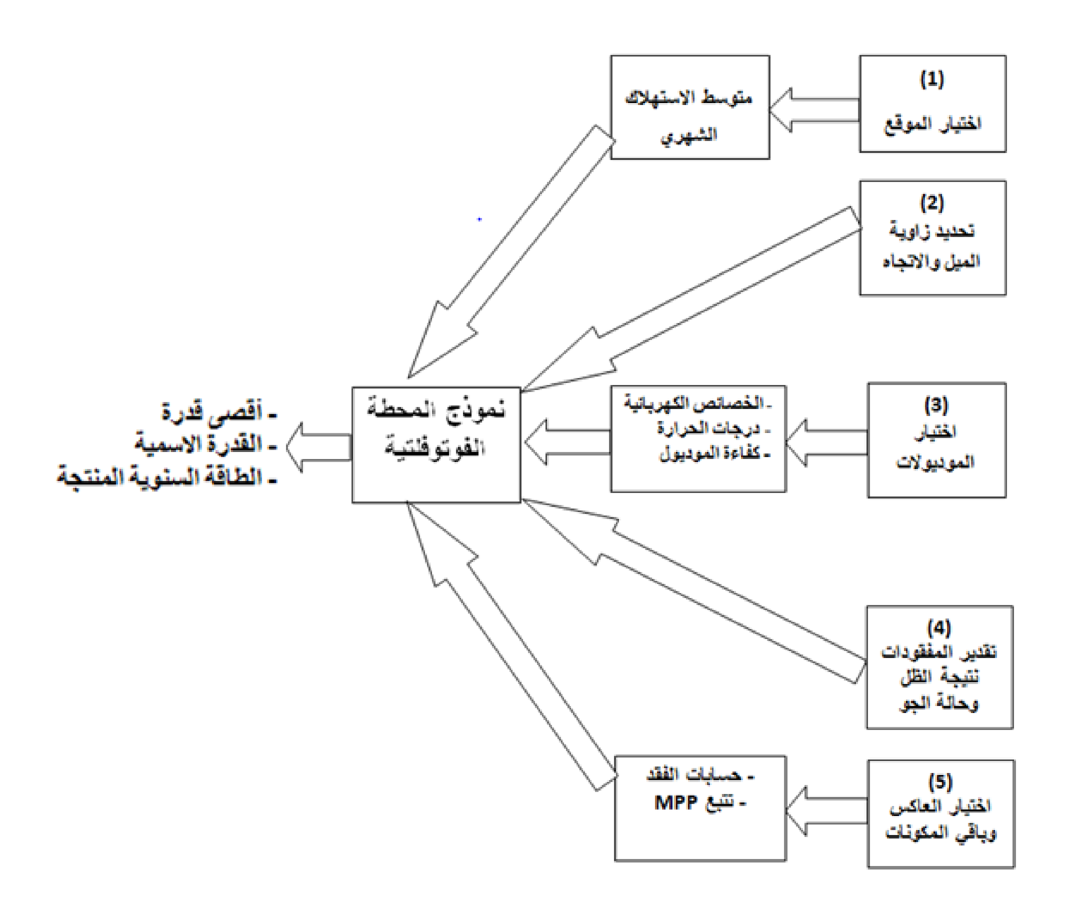
يجب اتباع الخطوات التالية عند تصميم محطة فوتوفلتية غير مرتبطة بالشبكة (off-grid):

١. تحديد الطاقة الكهربائية التي يحتاج تغذيتها (الأحمال : الأجهزة الكهربائية )
٢. تحديد بطاريات التخزين المطلوبة
٣. تحديد طاقة المدخل المطلوبة من مصفوفة الفوتوفلتية أو من أي مصدر آخر (مثل : مولد/ شحن البطاريات )
٤. اختيار باقي مكونات النظام .

يوضح شكل (٢) أهم العوامل المؤثؤة في تصميم محطة فوتوفلتية مستقلة عن الشبكة ويوضح شكل (٣) نموذج استرشادي لتصميم نظام فوتوفلتية .




شكل (٢)رسم خطى لأهم العوامل المؤثرة في تصميم محطة فوتوفلتية مستقلة عن الشبكة




شكل (٣) نموذج إسترشادي لتصميم نظام فوتوفلتية

سنتعرض لطريقتين لحساب مكونات محطة فوتوفلتية غير مرتبطة بالشبكة

**الطريقة الاولى :**

نعرض المثال التالى لاستخدامه فى توضيح وتطبيق طريقة الحساب .

**مثال (١)**

يوضح جدولى (١) ، (٢) أحمال منزل صغير يحتوي علي :

- لمبات إضاءة تعمل بالتيار المستمر (DC)
- تليفزيون وثلاجة يعملان بالتيار المتردد (AC)

فيتم حساب الأحمال اليومية (wh) في فصلي الصيف والشتاء تبعا لعدد ساعات التشغيل يوميا .

كفاءة العاكسات النموذجية أعلي من 90% ولكن أحيانا ، في الكثير من الأنظمة، تعمل العاكسات عند أحمال منخفضة جدا ، ولذا يوصي باستخدام متوسط كفاءة للعاكس بين 90% ، 85%

في المثال (١) سيتم اختيار كفاءة العاكس 90% وتكون الأحمال المحسوبة (wh) كالآتي :

الحمل اليومي لأحمال (AC) = 1500 wh/0.9 = 1667 wh

الحمل اليومي لأحمال (AC) = 112 wh

إجمالي الأحمال اليومية = 1779 wh

في حالة عدم وجود أحمال (AC) نستخدم فقط أحمال (DC)

جدول (١) حصر الأحمال (DC) وحساب الطاقة الكهربائية المستهلكة (الحمل اليومي)

| نوع الحمل | العدد والقدرة | اقصي قدرة W | عدد ساعات التشغيل اليومي (n) | | الطاقة المستهلكة / اليوم (wh) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | الصيف | الشتاء | الصيف | الشتاء |
| لمبات | ٤*٧ W | ٢٨ | ٤ | ٤ | ١١٢ | ١١٢ |
| الحمل اليومي (DC) | | | | | ١١٢ | ١١٢ |

جدول (٢) حصر الأحمال (AC) وحساب الطاقة الكهربائية المستهلكة (الحمل اليومي)

| نوع الحمل | القدرة W | عدد ساعات تشغيل /اليوم (h) | | الطاقة المستهلكة/ اليوم (wh) | | القدرة VA | عامل تيار البداية | مشاركة طلب البداية | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الصيف | الشتاء | الصيف | الشتاء | | | المحتمل (VA) | التصميم (VA) |
| تليفزيون | ١٠٠ | ٣ | ٣ | ٣٠٠ | ٣٠٠ | ١٢٥ | ٤ | ٥٠٠ | ١٢٥ |
| ثلاجة | ١٠٠ | ١٢ | ١٢ | ١٢٠٠ | ١٢٠٠ | ١٢٥ | ٤ | ٥٠٠ | ٥٠٠ |
| الحمل اليومى | | | | ١٥٠٠ | ١٥٠٠ | ٢٥٠ | | ١٠٠٠ | |

**بفرض معامل قدرة = ٠,٨**

خطوات الطريقة الاولى :

## (١) <u>تقييم الأحمال (الطاقة)</u> ( load (energy) assessment)

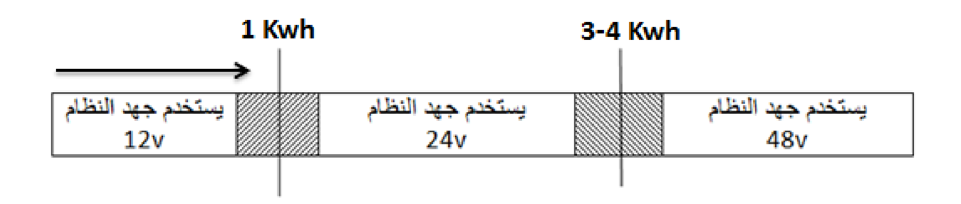
يعبر عن الطاقة الكهربائية المستهلكة بوحدة وات.ساعة (wh) أو ك.و.س. (kwh)
ولحساب الطاقة الكهربائية المستهلكة يوميا للأجهزة الكهربائية ، يتم حساب حاصل ضرب قدرة كل جهاز في عدد ساعات التشغيل في اليوم نحصل علي وات . ساعة لكل جهاز ، بجمع : وات . ساعة لجميع الأجهزة نحصل علي الطاقة المستهلكة المطلوبة . يمكن أن تعمل الأجهزة الكهربائية بالتيار المتردد (AC) أو بالتيار المستمر (DC) .

**اختيار البطارية**

١) **تحديد جهد النظام (جهد البطارية)**

يكون جهد النظام (DC) : 12 ,24 or 48 v

لإختيار أحد هذه الجهود ، تستخدم القاعدة العامة التالية :" يزيد جهد تشغيل النظام الموصي به كلما زادت قدرة الأحمال الكلية "، يوضح شكل (٤ ) هذه القاعدة .




شكل (٤) القاعدة العامة لإختيار جهد التشغيل طبقا للحمل

مع مراعاة أن هذه القاعدة يجب أن تتماشي مع أن أقصي تيار مستمر يسحب من البطارية يجب ألا يتعدي 150A

## ٢) <u>مقاس البطارية</u> (Battery sizing)

لتحويل الطاقة الكلية المستهلكة wh إلي وحدة البطارية Ah نستخدم المعادلة

$$\text{سعة البطارية} = \frac{\text{الطاقة الكلية المستهلكة}(wh)}{\text{جهد البطارية}(v)}$$

بالرجوع إلي المثال فى الجدولين (١) ، (٢) نجد ان الطاقة الكلية المستهلكة بالمنزل هي 1779 wh وطبقا للقاعدة العامة في شكل (٤) لتحديد جهد البطارية ، فإنه يتم إختيار جهد النظام (البطارية) 24V

ثم تحسب سعة البطارية

$$\text{سعة البطارية} = \frac{1779\ wh}{24\ v} = 74\ Ah$$

عند هذا الحد من الحسابات يكون أقل مقاس للبطارية (74 Ah) يناسب المطلوب للحمل اليومي .

ولكن تحدد سعة البطارية بحيث تكون أكبر من أحد المتطلبين الآتيين :

- مقدرة البطارية لمتطلبات أحمال النظام ، غالبا لعدة أيام ، وأحيانا تحدد "بعدد أيام الحفظ" (Reserve day or days of autonomy) (وهو عدد الأيام التي

يجب فيها أن تغذي البطارية الأحمال في عدم وجود التغذية الرئيسية ، بما يعني أنه كلما زاد عدد أيام الحفظ كلما زادت سعة البطارية المطلوبة ) .

- مقدرة البطارية علي تغذية أقصي طلب قدرة .

تشتمل متغيرات التصميم الحرج علي :

- متغيرات مرتبطة بالطاقة المطلوبة من البطارية :
  - طلب الطاقة اليومي
  - أقصي عمق تفريغ يومي (DOD) (depth of discharge)
  - عدد أيام الحفظ
- متغيرات مرتبطة بقدرة تفريغ (تيار) البطارية .
  - أقصي طلب قدرة
  - القدرة العابرة (surge demand) (مثل تيار بداية المحركات )
- متغيرات مرتبطة بشحن البطارية :
  - أقصي تيار شحن

فيما يلي تطبيق ذلك علي مثال (١) :

### I. عدد أيام الحفظ

في خلال فترات انخفاض المدخل واحتياج الأحمال لقدرة كهربائية عندئذ يجب أن تكون سعة البطارية أكبر ، وعليه تصمم سعة او حجم البطاريات لعدد أيام حفظ محددة . ومن الشائع اختيار مدة ٥ أيام حفظ . إذا وجد مصدر إحتياطي مثل المولدات عندئذ يمكن تخفيض عدد أيام الحفظ . وفي حالات أخري عند عدم وجود مصدر شحن مساعد فتزيد عدد أيام الحفظ، غالبا، إلي ٧ أيام أو أكثر . في المثال (١) يتم إختيار عدد أيام الحفظ ٥ وعليه

سعة البطارية = 74 x 5 = 370 Ah

## II. أقصي عمق تفريغ :

توصي الشركات المصنعة للبطاريات بنسبة أقصي عمق تفريغ (DOD) . إذا تم دوريا تعدى هذه النسبة فإن عمر تشغيل البطارية ينخفض بشدة . أحيانا هذه النسبة تكون 50% وفي بعض أنواع البطاريات الخاصة بالطاقة الشمسية تصل هذه النسبة الي 80%

في مثال (١) بفرض أن أقصي DOD تكون 70% تصبح سعة البطارية كالآتي :

سعة البطارية = $370 \div 0.7 = 529$ Ah

## III. معدل تفريغ البطارية (Battery Discharge Rate)

يعتمد إختيار معدل تفريغ البطارية علي معدل استخدام الطاقة للأحمال المتصلة بالبطارية ، تعمل الكثير من الأجهزة الكهربائية لفترات قصيرة ، حيث تسحب قدرة كهربائية لمدة دقائق أكثر من سحبها قدرة لمدة ساعات . هذا يؤثر عند إختيار البطاريات ، حيث تتغير سعة البطارية مع معدل التفريغ . وأحيانا نحتاج إلي بيانات مثل منحني استخدام قدرة متوسط اليوم لتقدير معدل تفريغ مناسب . ولبعض الأنظمة الصغيرة ، لا يكون ذلك عمليا . فعندما يكون متوسط معدلات إستخدام القدرة منخفض ، نختار معدل تفريغ 100hr للبطاريات ذات ٥ أيام حفظ

في المثال (١)

سعة البطارية = 529 Ah (@ $C_{100}$)

عندما يكون معدل استخدام القدرة مرتفع ، يصبح من الضروري إختيار معدل تفريغ عالي للبطاريات ذات ٥ أيام حفظ ، مثل معدل ($C_{10}$) .10hr أو 20hr (C**20**) .

## IV. تخفيض مقنن البطارية بتأثير درجة الحرارة

**(Battery Temperature derating)**

تتأثر سعة البطارية بدرجة الحرارة . عندما تنخفض درجة الحرارة ، تنخفض سعة البطارية . يوضح شكل (٥) عامل تصحيح البطارية ( battery correction factor) عند درجات حرارة تشغيل منخفضة . يلاحظ في

الشكل أن عامل تصحيح درجة الحرارة يساوي ١ عند درجة حرارة 25 c° ، وهي درجة الحرارة التي توّصف عندها البطارية .

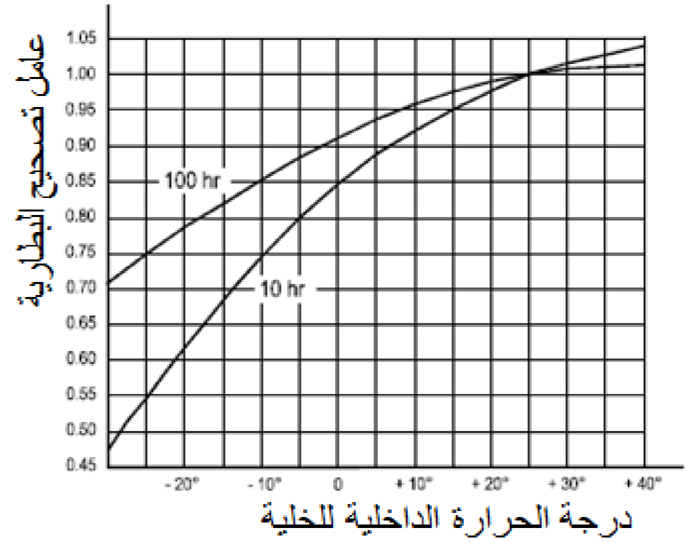
في المناطق الاستوائية ، غالبا تظل درجة الحرارة أعلي من 20 c° مساءا ، ماعدا الأنظمة المركبة في المناطق الجبلية التي تتمتع بدرجات حرارة باردة ، عندئذ يهمل التخفيض الراجع لدرجات الحرارة . وللحفاظ علي البطارية يتم إضافة نسبة 5% لسعة البطارية لتعويض هذا العامل .

## ٧. **إختيار البطارية**

- تختار الخلايا / البطاريات من نوع التفريغ العميق ، جهد وسعة النظام لسلسلة توالي أحادية لخلايا البطارية
- لا يوصي باستخدام سلسلة بطاريات علي التوازي ، إذا كان ذلك ضروريا ، يضاف مصهر (fuse) منفصل لكل سلسلة بطاريات

فى مثال (١) فإن :

البطاريات المختارة تكون علي الأقل 529 Ah (@ $C_{100}$)




شكل (٥) عامل تصحيح البطارية عند درجات الحرارة الداخلية للخلية

## ٣- مقاس مصفوفة الفوتوفلتية . PV array sizing

### (١) متحكمات تحويل قياسية (standard switched controllers)

تعتمد حسابات تحديد مقاس مصفوفة الفوتوفلتية علي نوع التحكمات المستخدمة . تاريخيا أغلب المتحكمات شائعة الإستخدام هي متحكمات تحويل قياسية . ولكن حديثا أصبح متاح استخدام عدد من متتبعات أقصي نقطة قدرة (MPPT) (max. power point trackers). في هذا الجزء سنتعرض لمقاس المصفوفة مع متحكمات تحويل قياسية ، بينما النوع الآخر سنتعرض له في بند : ثانيا (٢)
يتم إختيار مقاس مصفوفة الفوتوفلتية طبقا للعوامل الآتية :

- التغير الموسمي للإشعاع الشمسي
- التغير الموسمي للطاقة المستخدمة يوميا
- كفاءة البطارية
- سماحية التصنيع للموديولات
- عدم النظافة
- درجة حرارة المصفوفة (درجة الحرارة الفعلية للخلية)

يعطي الإشعاع الشمسي بوحدة kwh/m2 عند أقصي ساعات إشعاع يومي (PSH)(peak sun hours) ، والتي تكافئ عدد ساعات إشعاع 1Kw/m2 يجب أن يؤخذ في الإعتبار التغير في كل من الإشعاع الشمسي والطاقة المطلوبة للأحمال إذا لم يكن هناك تغير بين الحمل اليومي لأوقات متغيرة في السنة ، عندئذ يتم تصميم النظام لبيانات الشهر ذي الإشعاع الأقل وله أقصي ساعات إشعاع .

#### i. الطاقة اليومية المطلوبة من مصفوفة الفوتوفلتية

لابجاد الطاقة المطلوبة من مصفوفة الفوتوفلتية ، من الضروري زيادة الطاقة الصادرة من البطاريات بأن يؤخذ في الإعتبار كفاءة البطارية .
متوسط كفاءة البطارية (columbic efficiency) (بوحدة Ah) للبطارية الجديدة تكون 90% (لم يؤخذ في الإعتبارتأثير التغيرات في جهد البطارية )

في المثال (١) :

الطاقة اليومية المطلوبة بوحدة Ah الصادرة من البطارية تكون 74 Ah طبقا لكفاءة البطارية ، فمطلوب من المصفوفة إنتاج :

$$74\ Ah \div 0.9 = 82.2\ Ah$$

وبفرض أن PSH =5 لأسوء شهر من حيث كمية الإشعاع الشمسى

ثم يحسب تيار مخرج المصفوفة :

$$82.2\ Ah \div 5\ PSH = 16.5\ A$$

### ii. عامل زيادة المقاس (oversize factor)

في حالة عدم وجود مصدر تغذية إحتياطي (مولد مثلا) والذي يجهز شحن زائد للبطاريات ، لذا يجب زيادة مقاس المصفوفة لتعادل شحن البطاريات . حيث يختلف عامل زيادة المقاس من دولة إلي أخري فمثلا في أستراليا ونيوزيلاندا يكون بين 30% & 100% بينما يوصي في الباسيفيك بعامل 10%

في مثال (١) :

يكون تيار مخرج المصفوفة :

$$16.5\ A \times 1.1 = 18.1\ A$$

### iii. تخفض مقنن أداء الموديول (Derating module performance)

يخفض مقنن مصفوفة الفوتوفلتية نتيجة الآتي :

- سماحية التصنيع
تنص بيانات أغلب المصنعين على أن سماحية الموديولات إما بنسبة مثلا ±3% أو بقيمة قدرة مثلا ± 2w وبالإختبار تحدد القدرة الفعلية للموديولات ، أخذا في الإعتبار السماحية

- عدم النظافة (إتساخ)

خلال فترة زمنية يحدث إتساخ أو ملوحة (إذا كانت المصفوفة قريبة من ساحل) وينخفض مخرج المصفوفة . أي أن المصفوفة يحدث له تخفيض للمقنن نتيجة هذه الظاهرة . وتعتمد القيمة الفعلية علي موقع تركيب المصفوفة والتي يمكن أن تتغير من ٠,٩ الي ١ ( أي مفقودات حتي 10% نتيجة إتساخ المصفوفة )

- درجة الحرارة

تنخفض قدرة مخرج الموديولات مع زيادة درجة الحرارة عن°25 C وتزيد مع إنخفاض درجة الحرارة عن °25 C . يكون متوسط درجة حرارة الخلية أعلي من درجة الحرارة المحيطة، لأن زجاج السطح الأمامي للموديول يمتص بعض الحرارة من الشمس . وعليه يعتمد مخرج قدرة أو تيار الموديول علي أساس درجة الحرارة الفعلية للخلية .

والتي نحصل عليها من المعادلة

$$T_{\text{cell-eff}} = T_{a.day} + 25\ C°$$

حيث :

$T_{\text{cell-eff}}$= متوسط درجة الحرارة الفعلية اليومية للخلية (c°)

$T_{a.day}$ = متوسط درجة حرارة وقت النهار للشهر الذي عنده يحسب المقاس

وتستخدم الموديولات لشحن البطارية ، عند إجراء الحسابات يكون التيار عند 14v (الجهد الجيد لشحن البطارية) وعند درجة الحرارة الفعلية للخلية . إذا لم يكن متاح منحنيات التيار عند درجة الحرارة الفعلية للخلية فيتم استخدام " درجة حرارة التشغيل الإسمي للخلية (NOCT) (Normal operating cell Temperature) والمنصوص عليها بلوحة بيان الموديولات .

وعلي ذلك يحسب تخفيض مخرج مقنن التيار للموديول كالآتي :

(تيار الموديول عند 14V ودرجة الحرارة الفعلية للخلية (أو تيار NOCT) * التخفيض نتيجة سماحية المصنع * التخفيض نتيجة الإتساخ )

أي أن :

تخفيض مخرج مقنن التيار للموديول = $I_{(NOCT)} * F_{man.} * F_{dirt}$

إذا كانت سماحية الصانع للموديول 3%

$F_{man.}$ = (1-0.03) = 0.97

إذا كان للموديول فقد 5% نتيجة الاتساخ فان

$F_{dirt}$ = (1- 0.05) = 0.95

في مثال (١)

الموديول المختار له أقصي قدرة 80 Wp

يوضح جدول (٣) بيانات موديول 80W

جدول (٣) لوحة بيان موديول 80W

| | |
|---|---|
| مقنن القدرة | 80W |
| سماحية القدرة | ±5% |
| الجهد الاسمي | 12V |
| جهد أقصي قدرة $v_{\mathrm{mp}}$ | 17.6V |
| تيار أقصي قدرة $I_{\mathrm{mp}}$ | 4.55A |
| جهد الدائرة المفتوحة $v_{OC}$ | 22.1V |
| تيار القصر $I_{\mathrm{SC}}$ | 4.8A |
| درجة حرارة التشغيل الإسمى للخلية(NOCT) | 47± 2C° |
| التيار عند : NOCT , 14V | 4.75A |

من بيانات جدول (٣)

وبفرض أن عامل تخفيض الإتساخ 5%

تيار الموديول = $I_{(NOCT)} * F_{man.} * F_{dirt}$

= 4.75A * (1-0.05) * (1-0.05)

= 4.75A * 0.95 * 0.95 = 4.29 A

**iv. عدد الموديولات بالمصفوفة**

أولا يتم تحديد عدد الموديولات المتصلة علي التوالي ، وذلك بقسمة جهد النظام علي جهد التشغيل الإسمي للموديول .

في مثال (١)

عدد الموديولات المتصلة علي التوالي = 24V ÷ 12V = 2

أي أن السلسلة (string) تتكون من موديولين

لإيجاد عدد السلاسل المتصلة علي التوازي ، يتم قسمة تيار مخرج المصفوفة (A) علي تيار مخرج الموديول (A)

في مثال (١)

عدد السلاسل المتصلة علي التوازي= 18.1A ÷ 4.29A =4.22

يمكن إختيار عدد السلاسل إما ٤ أو ٥ سلسلة توصل علي التوازي ، إذا تم إختيار عدد السلاسل ٤ فإن

عدد الموديولات بالمصفوفة = 4 X 2 =8

أقصي قدرة للمصفوفة = 8 X 80 WP = 640 WP

## ٤- إختيار العاكس

يعتمد إختيار العاكس علي عدة عوامل مثل : التكاليف ، متطلبات التيارات العابرة (surge) ، جودة التغذية ، ..... توجد ثلاثة أنواع من العاكسات المتاحة تعتمد علي المخرج وهي : موجة مربعة ، موجة جيبية ، موجة مربعة معدلة ، حاليا من النادر إستخدام العاكسات ذات الموجة المربعة .

### مقاس العاكس

يختار مقاس العاكس بحيث يكون له القدرة علي تغذية الأحمال AC بصفة مستمرة مع المقدرة علي تحمل تيارات البداية العالية لبعض الأحمال وهو ما يعرف بطلب العبور (surge demand)

في مثال (١)

يختار العاكس لتغذية أحمال مستمرة 250A وقدرة بداية (عبور)650VA

## ٥- المتحكمات – متحكم تحويل قياسي ( Controllers-Standard Switched Controller)

يتحمل المتحكم مقنن 125% من تيار القصر للمصفوفة ، وجهد الدائرة المفتوحة للمصفوفة يمكن زيادة سعة المتحكم نظرا للتوسعات المستقبلية .

في مثال (١)

تيار مقنن المتحكم > 1.25 x 4 (string) x 4.8A ($I_{S.C}$) > 24A (24V)

## ٦- المولدات وشحن البطارية (Generators and Battery charging)

لتخفيض تكاليف النظام ، يكون من الشائع في بعض التطبيقات إستخدام شحن مساعد للتغذية بالطاقة في حالة ما إذا كانت الطاقة المستهلكة أكبر من الطاقة الشمسية اليومية . وغالبا ، يكون ذلك عبارة عن مولد ديزل /بترول/غاز . إذا كان مخرج الكهرباء 230 VAC (أو 120V أو 110V) يضاف شاحن بطارية . أو يمكن إستخدام عاكس / شاحن أو وحدة شاحن منفصلة .

عند إستخدام مولد يجب مراعاة العوامل الآتية :

- تخزين وقود مع مراعاة احتياطات لمنع سكب الوقود
- تحكم في إنبعاث الضوضاء
- التهوية
- تحميل المولد

من وجهة نظر تحميل المولد ، فيجب تغذية أحمال أكبر من 50% من أقصي مقنن للمولد . لأن تحميل المولد بأقل من 50% يزيد تكاليف التشغيل والصيانة ويقلل عمر المولد .

### مقاس شاحن البطارية

يجب أن يكون للشاحن المقدرة علي توريد جهد أكبر من جهد النظام الإسمي . بينما لا يزيد أقصي تيار شحن عن الموصي به من مصنعي البطاريات ، ولكن يمكن تقدير إستعمال أقصي تيار شحن حول 10% من معدل $C_{10}$

## **ثانيا : مقاس مصفوفة الفوتوفلتية PV array sizing**

سبق أن تمت الحسابات بإستخدام متحكمات تحويل قياسية ( بند ٣ ) وفى هذا البند ستتم الحسابات بإستخدام :

### **(٢) متتبعات أقصي نقطة قدرة (MPPT)**

تتبع الخطوات التالية :

١- الطاقة اليومية المطلوبة من مصفوفة الفوتوفلتية

يراعي أن مقاس المصفوفة المختارة تؤخذ في الإعتبار الآتي :

- التغير الموسمي في الإشعاع الشمسي
- التغير الموسمي في طاقة الإستخدام اليومي
- كفاءة البطارية (wh)
- مفقودات الكابلات
- كفاءة MPPT
- سماحية الصانع للموديولات
- الإتساخ
- درجة حرارة المصفوفة (درجة الحرارة الفعلية للخلايا)

في المتحكمات القياسية أخذ في الإعتبار، فقط، مفقودات المكونات الفرعية للنظام ، كفاءة البطارية وإستخدمت الحسابات بوحدة (Ah) . بينما في متحكمات MPPT فإن الحسابات تستخدم بوحدة (wh) وتشمل مفقودات المكونات الفرعية للنظام الآتي :

- كفاءة البطارية (wh)
- مفقودات الكابلات
- كفاءة MPPT

للحصول علي القدرة المطلوبة للمصفوفة ، يكون من الضروري زيادة الطاقة الصادرة من البطاريات لتعويض جميع مفقودات المكونات الفرعية للنظام .

في مثال (١)

بفرض

- مفقودات الكابلات 3% (تكون كفاءة النقل حوالي 97% )
- كفاءة MPPT حوالي 95%
- كفاءة البطارية 80%

كفاءة المكونات الفرعية للنظام = 0.97 x 0.95 x 0.80 = 0.737

الطاقة المطلوبة من المصفوفة = 1779 wh ÷ 0.737 = 2413 wh

PHS = 5

أقصي قدرة مخرج مطلوبة للمصفوفة = $\frac{2413\ Wh}{5\ PSH}$ = 482 Wp

## ٢- <u>عامل زيادة المقاس (oversize factor)</u>

في حالة عدم وجود مصدر تغذية إحتياطي (مولد مثلا) والذي يجهز شحن زائد للبطاريات ، لذا يجب زيادة مقاس المصفوفة لتعادل شحن البطاريات . يختلف عامل زيادة المقاس من دولة إلي أخري فمثلا في أستراليا ونيوزيلاندا يكون بين 30% الي 100% بينما يوصي في الباسيفيك بعامل 10%

في مثال (١) :

يكون قدرة مخرج المصفوفة :

482 X 1.1 = 530 Wp

## ٣- تخفض مقنن أداء الموديول (Derating module performance)

يخفض مقنن مصفوفة الفوتوفلتية نتيجة الآتي :

- سماحية التصنيع
تنص بيانات أغلب المصنعين على أن سماحية الموديولات إما بنسبة مثلا %3± أو بقيمة قدرة مثلا 2w ± بالإختبار تحدد القدرة الفعلية للموديولات ، أخذا في الإعتبار السماحية
- عدم النظافة (إتساخ)
خلال فترة زمنية يحدث إتساخ أو ملوحة (إذا كانت المصفوفة قريبة من ساحل) وينخفض مخرج المصفوفة . أي أن المصفوفة يحدث له تخفيض للمقنن نتيجة هذه الظاهرة . تعتمد القيمة الفعلية علي موقع تركيب المصفوفة والتي يمكن أن تتغير من ٠,٩ الي ١ ( أي مفقودات حتي 10% نتيجة إتساخ المصفوفة )
- درجة الحرارة
تنخفض قدرة مخرج الموديولات مع زيادة درجة الحرارة عن°25 C وتزيد مع إنخفاض درجة الحرارة عن °25 C . يكون متوسط درجة حرارة الخلية أعلي من درجة الحرارة المحيطة لأن زجاج السطح الأمامي للموديول يمتص بعض الحرارة من الشمس . وعليه يعتمد مخرج قدرة أو تيار الموديول علي أساس درجة الحرارة الفعلية للخلية . والتي نحصل عليها من المعادلة :

$$T_{\text{cell}-\text{eff}} = T_{a.day} + 25\ \text{C}°$$

حيث :

$T_{\text{cell}-\text{eff}}$= متوسط درجة الحرارة الفعلية اليومية للخلية (c°)

$T_{a.day}$ = متوسط درجة حرارة وقت النهار للشهر الذي عنده يحسب المقاس

في متحكمات التحويل إستخدمت درجة الحرارة الفعلية لايجاد تيار التشغيل للموديول / المصفوفة .

بينما في متحكمات MPPT يجب حساب تخفيض مقنن القدرة ( Derating power)

factorلأنواع الموديولات الشائعة الإستخدام لكل منها معامل درجة حرارة ( Temperature coefficient) مختلف كالآتي :

- موديول أحادي البلورة (Monocrystalline)

يكون معامل درجة الحرارة النموذجي للموديولات (-0.45 % /c°) وذلك لكل درجة حرارة أعلي من 25 c° يحدث إنخفاض قدرة بنسبة 0.45%

- موديول متعدد البلورة (polycrystalline)

يكون معامل درجة الحرارة النموذجي للموديولات (-0.5 % /c°)

- موديول فيلم رفيع (Thin film)

للموديولات خصائص مختلفة لدرجات الحرارة ناتجة من أقل معاملات والتي تكون حول (0.0 % /c°) إلي (-0. 25 % /c°) ويجب التأكد من الصانع لقيمة معامل درجة الحرارة.

في مثال (١)

بفرض أن درجة الحرارة المحيطة (والتي تختلف تبعا للمكان) 30c°

درجة الحرارة الفعلية = 30c° + 25c° =55c°

هذا يعني أن درجة حرارة الخلية تزيد بـ 30c° عن درجة حرارة (STC) (وهي 25c°)

الموديول المستخدم في المثال 80Wp متعدد البلورة بتخفيض مقنن (-0.5 % /c°) وعليه تحسب المفقودات الراجعه لدرجة الحرارة :

فقد درجة الحرارة = 30c° x (0.5%/c°) = 15%

أي أن عامل تخفيض مقنن درجة الحرارة : ٠,٨٥

وبفرض 5% تخفيض مقنن الإتساخ (فقد)

عند حساب قدرة الموديول المضبوطة يؤخذ في الإعتبار المعاملات الآتية :

- عامل تخفيض مقنن الإتساخ 95% (الفقد 5%)
- عامل تخفيض مقنن درجة الحرارة 85% (الفقد 15%)
- عامل تخفيض مقنن القدرة 95% (الفقد 5%)

قدرة الموديول المضبوطة = 80W x 0.95 x 0.95 x 0.85 = 61.4 W

٤- **عدد الموديولات بالمصفوفة** :

تحسب عدد الموديولات المطلوبة للمصفوفة ،بقسمة قدرة المصفوفة علي قدرة الموديول المضبوطة

في مثال (١)

عدد الموديولات في المصفوفة= 530W ÷ 61.4 W = 8.63

(يلاحظ في حالة متحكم التحويل كانت النتيجة ٤،٢٩ سلسلة توازي وكل سلسلة تحتوي علي موديولين توالي)

ويعتمد إختيار عدد الموديولات بالمصفوفة علي اختيار MPPT . إذا تم إختيار عدد الموديولات ٩ ، فإن

قدرة المصفوفة = 9 X 80 Wp = 720 Wp

## ٥- **إختيار MPPT**

يوضح جدول (٤) أمثلة لبعض أنواع MPPT والخصائص من حيث الجهد والتيار

جدول (٤) خصائص أنواع من MPPT

| الطراز | جهد البطارية DC (V) | مدي جهد المدخل (V) | أقصى تيار للبطارية DC(A) | أقصي قدرة للمصفوفة (W) | أقصي تيار حمل (A) |
|---|---|---|---|---|---|
| STECA solarix MMP 2010 | 12/24 | 17:100 | 20 | 250/500 | 10 |
| Phocos MPPT 100/20-1 | 12/24 | Max. 95 | 20 | 300/600 | 10 |
| Morningstar SS-MPPT-15L | 12/24 | Max.75 | 15 | 200/400 | 15 |
| Outback Flex Max 80 | 12/24/36/48/60 | Max.150 | 80 | 1250(12)<br>2550(24)<br>5000(48)<br>7500(60) | - |
| Outback Flex Max 60 | 12/24/36/48/60 | Max.150 | 60 | 900(12)<br>1800(24)<br>3600(48)<br>4500(60) | - |

في مثال (١)

يزاد مقنن MPPT إلي

1.25 X 720 Wp = 900W

بالرجوع إلي جدول (٤) يختار نوع MPPT عند جهد النظام 24V وقدرة المصفوفة 900W ، ولذا نجد أنه يمكن إختيار أحد البدائل الآتية:

- الطراز Outback Flex Max.60 ، والذي له مقنن مصفوفة 1800 W عند 24 V
- عدد ٢ من الطراز STECA ، والذي له مقنن مصفوفة 500W عند 24V
- عدد ٢ من الطراز Phocos ، والذي له مقنن مصفوفة 600W عند 24V

## ٦- التوافق بين مصفوفة الفوتوفلتية وأقصى جهد موصف لـ MPPT

يجب أن يوصي لمتحكمات المتتبع MPPT على أقل جهد إسمي للمصفوفة ، وأقصي جهد . في حالة تحديد أقصي جهد مدخل وكان جهد المصفوفة أعلي من أقصي جهد محدد ، عندئذ يمكن أن ينهار متحكم MPPT

تسمح بعض أنواع متحكمات MPPT أن يكون أقل جهد إسمي للمصفوفة أعلي من الجهد الإسمي للبطاريات . يوضح جدول (٥) أقل جهود إسمية للمصفوفة .

جدول (٥) أقل جهود إسمية للمصفوفة

| الجهد الاسمي للبطارية | أقل جهد اسمي موصي به للمصفوفة |
|---|---|
| 12V | 24V |
| 24V | 36V |
| 48V | 60V |

من الأهمية أن يتوافق جهد مخرج السلسلة مع جهود تشغيل MPPT وأن لا يصل أبدا إلي أقصي جهد لـ MPPT

يتأثر جهد مخرج الموديول بتغير درجة حرارة الخلية بنفس طريقة مخرج القدرة . حيث تنص لوحة بيان الموديول على معامل درجة حرارة الجهد ( voltage temperature coefficient)

ويعبر عنه بـ (mV/c°) او (V/c°) او %

للتأكد من عدم وصول Voc إلي أقصي جهد مسموح به لـ MPPT ، يكون مطلوب تحديد أقل درجات حرارة فى اليوم يتعرض لها بالموقع المحدد .

في المثال (١)

- نفرض أن معامل درجة حرارة الجهد (0.07V/C°)
- أقل درجة حرارة 20C° أي أقل من درجة حرارة STC بـ 5C°

التغير الفعلي في الجهد= 5C° X (0.07V/C°) = 0.35V

أقصي جهد للدائرة المفتوحة (Voc) للموديول = 22.1V + 0.35V = 22.45V

أقصي عدد موديولات متصلة علي التوالي = 150V ÷ 22.45V = 6.68

وعلي ذلك يسمح بـ MPPT بعدد بين ٣ ، ٦ موديول في السلسلة .

كان العدد الفعلي للموديولات المطلوب 8.68 ، إذا أختير العدد ٨ (لذا يستخدم عامل زيادة المقاس 10% ، وتحديد أسوء شهر لـ (PSH) فتكون المصفوفة عبارة عن ٢ سلسلة علي التوازي ، كل سلسلة تحتوي علي ٤ موديول علي التوالي . أما إذا تم إختيار عدد ٩ موديول يكون الحل ٣ سلاسل علي التوازي ، كل سلسلة تحتوي علي ٣ موديول علي التوالي .

**ثانيا : الطريقة الثانية**

لتسهيل فهم هذه الطريقة وإجراء التطبيقات ، يستخدم مثال (٢) الموضح بجدول (٦)

**إختيار مصفوفة PV**

نحصل علي قدرة مخرج المصفوفة طبقا للمعادلة التالية

$E_{ideal} = p_{pv} . Z_2 . Z_3 . Z_4$ ---------------- (1)

حيث

$E_{ideal}$ =مخرج الطاقة النموذجي من المصفوفة (kwh/d)

$p_{pv}$ = القدرة الإسمية للمصفوفة ( $kw_p$ )

$Z_2$ = عدد ساعات السطوع (في جدول (٧) ) (h/d )

$Z_3$ = عامل الإنحراف عن المستوي الافقي ( في حالة عدم تحديدها تفرض ١ )

(أو عامل تصحيح التوجية Orientation correction factor)

$Z_4$ = عامل تصحيح درجات الحرارة ( عن القيمة القياسية ) ( من جدول (٨))

يحتوي جدول (٧) علي قيمة الإشعاع الكلي علي المستوي الأفقي بوحدة ( kwh/( m2*d) ) ، وحيث أن قيمة شدة الإشعاع طبقا " حالة الإختبار القياسي " (STC) تساوي 1Kw / m2 بإستخدام هذه القيمة وقيم جدول (٧) نستنتج أنه يمكن إستخدام نفس القيم بالجدول للحصول على عدد ساعات السطوع (h/d) لأن

$( ( \frac{kwh}{m2.d} \div \frac{kw}{m2} ) )$= h/d

ولذا نحصل علي $Z_2$ من جدول (٧)

**تأثير التوجيه على مصفوفة PV**

مفترض أن توجه المصفوفة ناحية الجنوب وبزاوية ميل تساوي زاوية خط العرض ، ولكن يلزم إستخدام عامل تصحيح (correction factor) توجيه المصفوفة إعتمادا علي المكان (لأن أكبر تأثير للتوجيه يكون عند خط العرض ) . ترتبط عاملات التصحيح فقط بتوجيه محدد يشار إليه .      هذا التوجيه يكون مثالي لكي تكون قيم أقل إشعاع شهري هي القصوي . هذه هي الطريقة المثلي لطاقة ثابتة مطلوبة للتغذية خلال العام من الأنظمة الفوتوفلتية المستقلة عن الشبكة

**تأثير درجة الحرارة علي مصفوفةPV**

أكثر العوامل المؤثرة علي درجة حرارة الخلية:

- الموقع (الإشعاع ودرجة الحرارة المحيطة)
  يؤدي إرتفاع كل من الإشعاع ودرجة الحرارة المحيطة بالموقع إلي زيادة المفقودات نتيجة درجة الحرارة .
- التهوية الخلفية للموديولات
  الموديولات المركبة في الهواء الطلق تنخفض درجة حرارتها عن الموديولات المتكاملة علي أسطح المباني والتي لها تهوية غير جيدة .
  عندئذ يحدث إنحراف عن قيم درجة الحرارة القياسية .
  ولتصحيح هذه القيم يستخدم عامل تصحيح درجة الحرارة (temperature correction)من جدول (٨)

**المفقودات الكلية من الكابلات والتحويل وعدم التوافق** Total losses from cables , conversion , mismatching

نحصل علي المفقودات الكلية طبقا للمعادلة

$$Y = Y_L \cdot Y_a \cdot Y_u \quad \text{---------------------} \ (2)$$

حيث

Y = المفقودات الكلية الناتجة من الكابلات والتحويل وعدم التوافق

$Y_L$ = مفقودات الكابلات تؤخذ 6 % (بفرض أن مفقودات الكابلات من المصفوفة إلي منظم الشاحن 3% ، ومن البطارية إلي منظم الشحن 3% )

$Y_u$ = مفقودات التحويل ، من عملية تخزين الطاقة الكيميائية يحدث فقد خلال عملية التحويل والتي تعتمد علي عوامل متعددة مثل : النوع – العمر – الحالة – درجة الحرارة – عملية الشحن ومنحني الحمل . من تجارب سابقة تؤخذ هذه القيمة 0.9 في بعض المناطق الحارة تؤخذ بين 0.85 , 0.8

جدول (٦) حصر الأحمال وحساب الطاقة الكهربائية المستهلكة ( مثال ٢)

| نوع الحمل | العدد | القدرة (w) | عدد ساعات التشغيل / اليوم | | الطاقة المستهلكة / اليوم | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | الصيف | الشتاء | الصيف Wh | الشتاء Wh |
| لمبات | 3 | 3*12 | 1 | 3 | 36 | 108 |
| | 1 | 12 | 0.5 | 0.5 | 6 | 6 |
| | 2 | 2*7 | 1 | 1 | 14 | 14 |
| ثلاجة | 1 | 50 | غير معروف | مفصولة | 300 | - |
| تليفيزيون | 1 | 50 | 2 | 2 | 100 | 100 |
| طلمبة مياه | 1 | 60 | 3.33 | 3.33 | 200 | 20 |
| الاجمالي | | 222 | | | 656 | 249 |

جدول (٧) قيم الإشعاع الكلي علي المستوي الأفقي (kwh/( m2*d)) بالقاهرة

| الشهر | يناير | فبراير | مارس | ابريل | مايو | يونيو | يوليو | اغسطس | سبتمبر | اكتوبر | نوفمبر | ديسمبر | الاجمالي السنوي |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الاشعاع | ٣,٢١ | ٤,٠٩ | ٥,٣١ | ٦,٤٢ | ٧,١٨ | ٧,٧٤ | ٧,٥٣ | ٦,٩٤ | ٦,٠٣ | ٤,٨ | ٣,٥٦ | ٢,٩٤ | ٢٠٠٣ |

جدول (٨) عامل تأثير درجة الحرارة علي الخلية (القاهرة)

| البند | يناير | فبراير | مارس | ابريل | مايو | يونيو | يوليو | اغسطس | سبتمبر | اكتوبر | نوفمبر | ديسمبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **تاثير درجة الحرارة المنخفضة : تركيب في حقل موديولات سيليكون بللوري أو غير بللوري** | ٠,٩٦ | ٠,٩٤ | ٠,٩٣ | ٠,٩١ | ٠,٨٩ | ٠,٨٨ | ٠,٨٨ | ٠,٨٨ | ٠,٨٩ | ٠,٩٠ | ٠,٩٣ | ٠,٩٥ |
| **تاثير درجات الحرارة المتوسطة : تركيب علي سطح ، موديولات بلورية** | ٠,٩٣ | ٠,٩٢ | ٠,٩٠ | ٠,٨٨ | ٠,٨٦ | ٠,٨٤ | ٠,٨٤ | ٠,٨٤ | ٠,٨٦ | ٠,٨٧ | ٠,٩٠ | ٠,٩٣ |
| **ظاهرة درجات الحرارة العالية : تركيب علي سطح ، خلايا بلورية بدون تهوية** | ٠,٩٠ | ٠,٨٩ | ٠,٨٧ | ٠,٨٤ | ٠,٨٢ | ٠,٨١ | ٠,٨١ | ٠,٨١ | ٠,٨٣ | ٠,٨٤ | ٠,٨٧ | ٠,٩ |

**(Source: Habo7)**

$Y_a$ = مفقودات عدم التوافق ،

هذه المفقودات تنتج من التغيرات الحادثة في مستوي الجهد أثناء التشغيل ، أثناء حالات شحن البطارية ، تتواجد البطارية مع مصفوفة الفوتوفلتية عند مستويات جهد مختلفة . يعتمد الجهد الفعلي علي هذه الحالة بالإضافة إلي درجة الحرارة . هذا يعني أن مصفوفة الفوتوفلتية تعمل أحيانا خارج نقطة أقصى قدرة (MPP) في نفس الوقت يعتمد عملها علي

الإشعاع ودرجة الحرارة ...... هذا الإنحراف من الجهد ، والمعروف بعدم التوافق (Mismatching) ، يقدر بمتوسط مفقودات قدرة 10%

يعتمد إختيار معدل تفريغ البطارية (Battery Discharge Rate) علي معدل إستخدام الطاقة للأحمال المتصلة بالبطارية ، تعمل الكثير من الأجهزة الكهربائية لفترات قصيرة ، حيث تسحب قدرة كهربائية لمدة دقائق أكثر من سحبها قدرة لمدة ساعات . هذا يؤثر عند إختيار البطاريات ، حيث تتغير سعة البطارية مع معدل التفريغ . أحيانا يحتاج إلي بيانات مثل منحني إستخدام القدرة المتوسط ليوم لتقدير معدل تفريغ مناسب . لبعض الأنظمة الصغيرة ، لا يكون ذلك عمليا .

يمكن تخفيض مفقودات عدم التوافق إلي أقل قيمة إذا استخدم متحكم شحن متكامل مع متتبع MPP . في أنظمة الفوتوفلتية الصغيرة المستقلة عن الشبكة العامة حتي 1 KWp والتي تتكون من موديولات تحتوي علي 36 أو ٧٢ خلية بلورية ، لا يتم التوصية بإستخدام متحكم شحن متكامل مع متتبع MPP .

وعلي ذلك فإن المفقودات الكلية لمصفوفة الفوتوفلتية ، من المعادلة (٢)

$$Y = Y_L \cdot Y_a \cdot Y_u$$

$$= 0.94 \times 0.9 \times 0.9 = 0.76$$

تصمم مصفوفة PV بإستخدام إستهلاك الطاقة اليومي المفروض بوحدة kwh/d واعتمادا علي المتطلبات فيمكن استخدام القيمة المتوسطة بفصل الصيف أو الشتاء .

للحصول علي تصميم المصفوفة ، نستخدم المعادلة (١)

$$p_{pv} = \frac{E_{ideal}}{Z_2 . Z_3 . Z_4}$$

عند الأخذ في الإعتبار المفقودات الكلية ، فإن مخرج الطاقة النموذجي من المصفوفة ( $E_{ideal}$ ) يصبح مخرج الطاقة الحقيقي أو الفعلي ( $E_{real}$ )

ونحصل عليه من المعادلة

$$E_{real} = E_{ideal} \cdot Y \text{ ---------------- } (3)$$

$$E_{real} = p_{pv} \cdot Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_4 \cdot Y$$

$$p_{pv} = \frac{E_{real}}{Z_2 \cdot Z_3 \cdot Z_4 \cdot Y} \text{ ------------------ } (4)$$

**ايجاد الطاقة الزائدة في الصيف والطاقة المتبقية في الشتاء لنظام الفوتوفلتية**

غالبا عند تصميم أنظمة الفوتوفلتية المستقلة عن الشبكة تعتمد الحسابات علي الطاقة الزائدة في الصيف (SE) (SUMMER EXCESS) بوحدة (kwh/d) .بينما عند الأخذ في الإعتبار الاقتصاديات المثلي للنظام ، عندئذ يحسب كل من الطاقة الزائدة في الصيف (SE) والطاقة المتبقية في الشتاء (WR) (winter reserve) ، طبقا للمعادلات الآتية :

$$SE = E_{real\ summer} - W_{summer}$$

$$WR = E_{real\ winter} - W_{winter}$$

وتكون وحدة كل من (SE) ، (WR) ب (kwh/d) .

مثال :

بفرض أنه تم إختيار موديول $p_{pv}$ = 500Wp للمثال بجدول (٦)

$Z_2$ = 3 h/d في الصيف

= 0.44 h/d في الشتاء

$Z_3$ = 1.28 في الصيف

= 1.93 في الشتاء

$Z_4$ = 0.98 في الصيف

= 1.06 في الشتاء

Y = 0.76

وبإستخدام هذه البيانات نحصل على

$E_{real\ summer}$= 500 x 3 x 1.28 x 0. 98 x 0.76 = 1430 wh/d

$E_{real\ winter}$= 500 x 0.44 x1.93 x 1.06 x 0.76 = 342 wh/d

القدرة المطلوبة في الشتاء = $w_{winter}$ = 248 wh/d

القدرة المطلوبة في الصيف = $w_{summer}$ = 656 wh/d

SE = 1430 - 656 = 770 wh/d

WR = 342 _ 248 = 94 wh/d ⟶ 38% from $w_{winter}$

الطاقة الزائدة في الصيف (770 wh/d) تعني أنه يمكن تغذية أحمال أخري أو مستهلكين آخرين من نفس النظام ، وذلك خلال فترة الصيف .

**تلخيص**

لحساب قدرة الموديول ($p_{pv}$) للمثال بجدول (٦) مع إستخدام $Z_2$ , $Z_3$ , $Z_4$, Y من المثال السابق ، بتطبيق المعادلة التالية في فصل الصيف وفصل الشتاء :

$$p_{pv} = \frac{\text{الطاقةالمستهلكةيوميا}(\boldsymbol{w})}{Z_2 .Z_3 .Z_4.\text{Y}}$$

في الصيف

$$p_{pv} = \frac{656\ wh/d}{3\ x\ 1.28\ x\ 0.98\ x\ 0.76}$$

في الشتاء

$$p_{pv} = \frac{248 \text{ wh/d}}{0.44 \ x \ 1.93 \ x \ 1.06 \ x \ 0.76}$$

وعليه يتم إختيار قدرة الموديول علي أساس التشغيل في الشتاء أي يختار 400 Wp وهي قيمة زائدة في الصيف .

**<u>الطاقة الكهربائية المنتجة من مصفوفة PV في وجود ظل</u>**

المعادلة التقريبية للطاقة الكهربائية المنتجة تكون كالآتي

Output (kWh) = 0.8 x KWp x G x $Z_{pv}$ (٥)

حيث

KWp = أقصي قدرة مركبة

G = الإشعاع الشمسي السنوي (kwh/m2)

$Z_{pv}$= عامل تلقي الظل ( over shading factor)

= ١ للأسطح غير المتعرضة للظل

يعتمد عامل تلقي الظل علي نسبة حجز السماء بواسطة عائق ( sky blocked by obstacles) ويوضح جدول ( ٩ ) قيم هذا العامل

جدول ( ٩ ) عامل تلقي الظل

| وصف تلقي الظل | حجز السماء بواسطة عائق (%) | عامل تلقي الظل |
|---|---|---|
| كثيف (Heavy) | >80% | 0.50 |
| دال علي (significant) | 60% - 80% | 0.65 |
| معتدل (modest) | 20% - 60% | 0.80 |
| غير موجود أو قليل جدا (non or very little) | < 20% | 1.00 |

مثال (٢) :

مصفوفة مكونة من ٨ موديول سيليكون أحادي البلورة (مساحة الموديول : 1.3 m2 ، أقصي قدرة 170 Wp ) مركبة علي سطح ، إشعاع الشمس السنوي 1072 kwh/m2 ولا توجد أية ظلال . إحسب الطاقة الكهربائية المنتجة من هذه المصفوفة ؟

Output (kWh) = 0.8 x (8 x 170 x$10^{-3}$) x 1072 x 1 = 1166 kWh

مثال (٣ ) :

مبني مكاتب تجارية

مطلوب محطة شمسية تكافئ 40% من إستهلاك الكهرباء السنوي ، لمساحة 1000 m2 الإستهلاك السنوي 28800 kwh ، الإحمال الأساسية في الصيف والشتاء 20kw to 15kw علي التوالي

فروض :

- أقصي قدرة للموديول : 170 Wp
- مساحة الموديول : 1.3 m2
- تكاليف إنشاءات المبني : ε 1500/m2
- تكاليف إنشاءات الموديول : ε 800
- الموديولات متجه ناحية الجنوب وبزاوية ميل :°30
- تعريفة الكهرباء : ε 0.1733/kwh
- لا يوجد ظل أي أن Zpv = 1

خطوات الحل :

١- عند الموضع المختار يتحدد الإشعاع السنوي المتاح : G = 1074 kwh/m2.y

٢- تطبق المعادلة (٥) للحصول علي الطاقة الكهربائية المنتجة من كل 1 m2 للموديول :

Output (kWh) = 0.8 (0.17kWp/1.3 m2) x 1074 x 1 = 112 kwh/year

٣- استهلاك الطاقة المطلوب الحصول عليه من المحطة الفوتوفلتية

40 % ( من الاستهلاك السنوي) = 0.4 x 28800 = 11520 kwh

٤- تحسب مساحة الموديولات اللازمة لإنتاج 40% من الإستهلاك

$$\frac{11520\ kwh}{112\ \mathrm{kwh/m2}} = 103\ \mathrm{m2}$$

ولأن كل 1.3m2 للموديول نحصل منه علي 170 Wp ، فإن المساحة 103 m2 تعطي

103 x (0.17/0.3) = 13.4 kW

٥- إذا كانت تكلفة الموديول (1.3 m2) تساوي ε 800 فإن تكلفة المساحة 103 m2

(103/1.3) x ε 800 =ε 63384

الكهرباء المنتجة علي مدي عمر التشغيل ٢٥ سنة

11520 kWh x 25 = 281250 KWh

تكاليف كل 1 kwh منتجة

ε 63384/281250 kwh = ε 0.225/kwh

يوضح الجدول التالي ملخص هذه النتائج :

| | |
|---|---|
| مساحة الدور بالمبني | 1000 m2 |
| مساحة مصفوفة الفوتوفلتية | 103 m2 |
| مقنن قدرة مصفوفة الفوتوفلتية | 13.4 KWp |
| تكاليف انشاءات نظام الفوتوفلتية | ε 63384 |
| الطاقة المنتجة من نظام الفوتوفلتية | 11520 kwh/y |
| مشاركة نظام الفوتوفلتية في استهلاك المبني | 40 % |
| الطاقة المنتجة خلال عمر تشغيل المحطة (٢٥سنة) | 281250 kwh |
| التكلفة البسيطة للانشاءات علي مدي عمر المحطة | ε 0.225/kwh |

مثال (٤) :

إنشاءات سكنية

مطلوب محطة شمسية تكافئ 15% من إستهلاك الطاقة الكهربائية السنوية للمنزل ، الإستهلاك السنوي للمنزل 7500 kwh

فروض :

- أقصي قدرة للموديول : 170 Wp
- مساحة الموديول : 1.3 m2
- تكاليف إنشاءات المبني : ε 1700/m2
- تكاليف إنشاءات الموديول : ε 1000
- الموديولات متجه ناحية الجنوب وبزاوية ميل :°30
- تعريفة الكهرباء : ε 0.19/kwh
- لا يوجد ظل أي أن Zpv = 1
- عمر تشغيل الموديولات : ٢٥ سنة

خطوات الحل :

١- عند الموضع المختار يتحدد الإشعاع السنوي المتاح : G = 1074 kwh/m2.y
٢- تطبق المعادلة (٥) للحصول علي الطاقة الكهربائية المنتجة من كل 1 m2 للموديول :

$$\text{Output (kwh)} = 0.8\ (0.17\text{kWp}/1.3\ \text{m2}) \times 1074 \times 1 = 112\ \text{kwh/year}$$

٣- استهلاك الطاقة المطلوب الحصول عليه من المحطة الفوتوفلتية

15 % (من الاستهلاك السنوي) = 0.15 x 7500 = 1125 kwh

٤- مساحة الموديولات اللازمة لإنتاج 15% من الاستهلاك

$$\frac{1125\ kwh}{112\ \text{kwh/m2}} = 10\ \text{m2}$$

من كل 1.3m2 للموديول نحصل منه علي 170 Wp ، فإن المساحة 10 m2 تعطي

10x ( 0.17/1.3) = 1.31 kw

٥- إذا كانت تكلفة الموديول (1.3 m2) تساوي 1000 ε فإن تكلفة المساحة 10 m2

(10/1.3) x ε 1000 =ε 7692

الكهرباء المنتجة علي مدي عمر التشغيل ٢٥ سنة

1125 kWh x 25 = 28125 kWh

تكاليف كل 1 kwh منتجة

ε 7692/28125 kwh = ε 0.274/kwh

يوضح الجدول التالي ملخص هذه النتائج

| | |
|---|---|
| مساحة مصفوفة الفوتوفلتية | 10 m2 |
| مقنن قدرة مصفوفة الفوتوفلتية | 1.31 KWp |
| نكاليف انشاءات نظام الفوتوفلتية | ε 7692 |
| الطاقة المنتجة من نظام الفوتوفلتية | 1125 kwh/y |
| مشاركة نظام الفوتوفلتية في استهلاك المبني | 15 % |
| الطاقة المنتجة خلال عمر تشغيل المحطة (٢٥سنة) | 28125 kwh |
| التكلفة البسيطة للانشاءات علي مدي عمر المحطة | ε 0.274/kwh |

# الباب الثانى عشر
# الظلال على الخلايا الفوتوفلتية
# Shading on PV cells

من المعلوم أن الوقود الأساسي للخلايا الشمسية هو ضوء الشمس أو الإشعاع الشمسي، وهو مصدر طاقة طبيعي من الشمس، لذلك عند وجود مانع أو حائل في طريق الضوء أو الإشعاع (مثل السحب، الأشجار، المداخن، الأتربة، فضلات الطيور .......) فإنه يسبب إلقاء ظلال على الخلايا الشمسية مانعا وصول مسار الإشعاع إلى سطح الخلايا.

كما يمكن أن ينتج الظل ذاتيا (self shading) نتيجة تركيبات صفوف من اللوحات الشمسية (panels) في صفوف متوازية على الأسطح دون مراعاة المسافات السليمة بينهم، ويعرف هذا الظل بالظل الجزئي (partial shading).

يمكن أن تكون تأثيرات هذه الظلال :

- ساكنة (static)
  أي بطيئة نتيجة زاوية ضوء الشمس خلال اليوم.
- ديناميكية (dynamic)
  نتيجة حركة السحب

كما ذكر سابقا فإن الخلية (cell) هي أصغر مكون في المحطة الشمسية (المصفوفة) للحصول على الجهد المطلوب للعاكس، فإنه يتم تقسيم مصفوفة الفوتوفلتية إلى سلاسل (strings). تحتوي أصغر مصفوفة على سلسلة واحدة، أما الأنظمة المتوسطة والكبيرة فانها تتكون من عدد من السلاسل اعتمادا على الخصائص الكهربائية المطلوبة.

فنجد أنه يمكن تمثيل السلسلة بأنبوبة وتمثيل الطاقة الشمسية بالزيت الخام المار بالأنبوبة، عند وجود أي عائق بالأنبوبة لن يمر الزيت بها، وهذا يشبه حدوث ظل على خلية يمنع مرور التيار بالسلسلة.

يعتمد تأثير الظلال على الأنظمة الفوتوفلتية على العوامل الآتية:

- عدد الموديول التي تعرضت للظلال.
- توصيل الخلايا وديود المسار الجانبي.
- درجة التظليل.
- التوزيع الفضائي والتظليل طوال الوقت.
- توصيلات الموديول
- تصميم العاكس.

**انواع الظل :**

١- ظل مؤقت

نتيجة تعرض الخلايا لـ : الثلوج ، الاشجار ، بقايا الطيور ....

٢- ظل نتيجة الموقع

نتيجة المبانى المحيطة

٣- ظل نتيجة مبانى

مثل الظل الناتج من : مداخن ، هوائيات ، اطباق الارسال ....

٤- الظل الذاتى

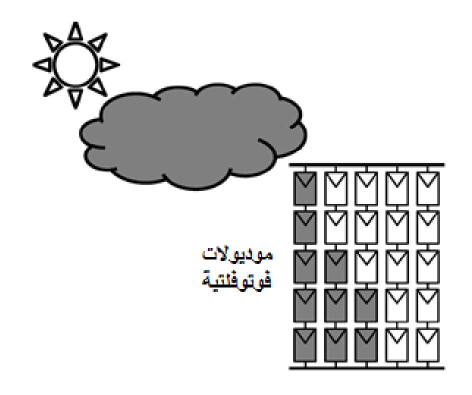
نتيجة تركيب هيكل المصفوفة مع عدم الاخذ فى الاعتبار المسافات البينية المانعة للظلال

٥- ظل مباشر

نتيجة وجود غرض ثابت بصفة مستمرة

يوضح شكل (١) أمثلة من الظل



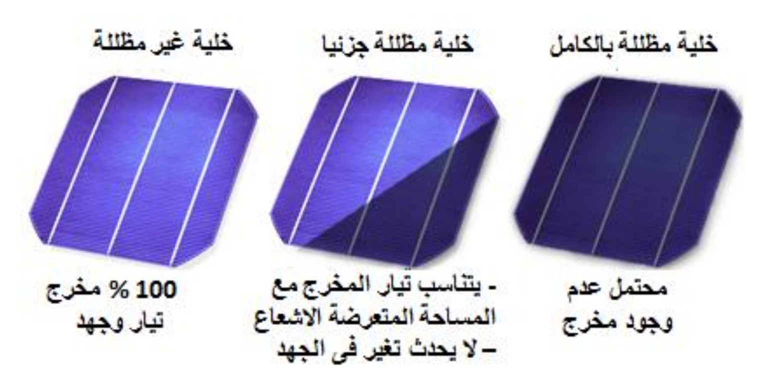



شكل (١) أمثلة من الظل

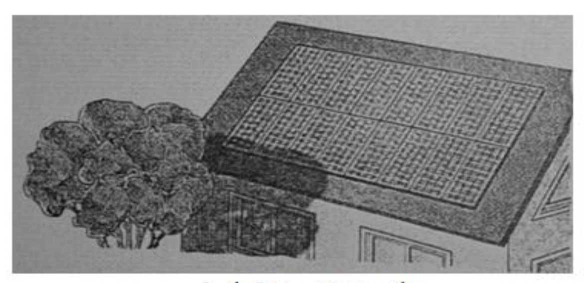
**تأثير الظل على خصائص المصفوفة**

يوضح شكل (٢) تأثير الظل على خصائص الخلية ( التيار والجهد ) والذى يؤدى الى تغير منحنى I-V لمصفوفة الفوتوفلتية عند التعرض للظلال. ويعتمد تأثير الظلال بمنحنى خصائص المصفوفة على وضع مصفوفة الفوتوفلتية، هل هي في وضع رأسي أم أفقي بالنسبة للظل. يوضح شكل (٣) ا أن الموديولات مركبة رأسية بينما شكل (٣) ب فإن الموديولات مركبة أفقية وعلى الرغم من أن الظل متماثل في الحالتين إلا أن تأثيره مختلفا، حيث تلاحظ في شكل (٣) أ أن عدد ٤ خلايا تعرضت للظل بينما في شكل (٣) ب تعرضت

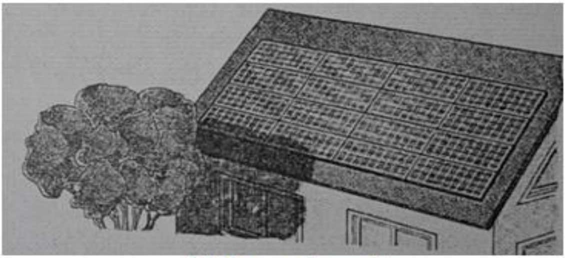
خليتين فقط للظل. وعلى ذلك فإن الإختيار المثالي لإتجاه الموديولات يمكن أن يحسن الأداء للمصفوفة وذلك بأن يؤخذ في الإعتبار أي اتجاه تثبيت للخلايا يمكن أن يكون الأكثر فائدة للتغلب على حالات الظل.




شكل (٢) تأثير الظل على خصائص الخلية ( التيار والجهد )



(أ) موديولات مركبة رأسية



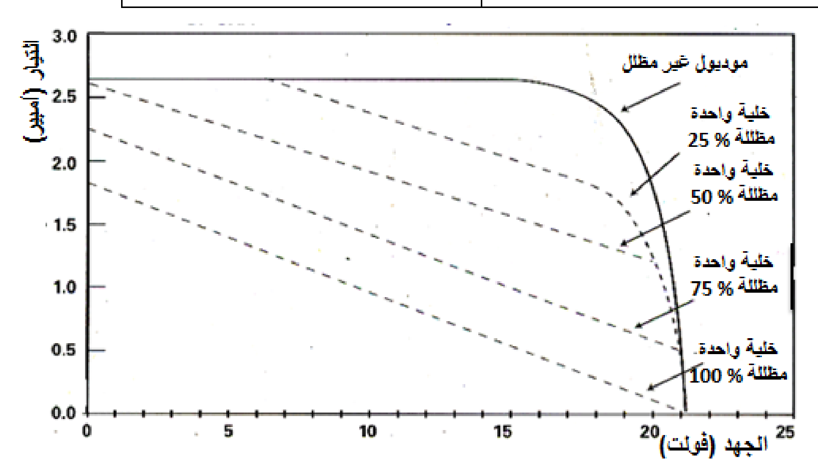
(ب) موديولات مركبة أفقية

شكل (٣) ظل على موديولات مركبة افقيا أو رأسيا

كذلك في حالة حدوث ظل صغير أو جزئي على الموديولات تجد النتيجة إنخفاض محسوس في المخرج. بعض أنواع الموديولات تكون أكثر تأثرا من أنواع أخرى. ومن المعلوم أن أغلب الموديولات تحتوي على ٣٦ خلية فوتوفلتية من السيليكون أحادي البلورة، في حالة عدم احتواء الموديول على ديودات المسار الجانبي الداخلية وتعرضت خلية واحدة للظل فإن فقد قدرة الموديول (module power loss) ينخفض كما في جدول (١)وشكل (٤).

جدول (١) تأثير الظل على قدرة مخرج الموديول(Greenbelt Solar LCC)

| نسبة الظل على خلية واحدة | نسبة فقد القدرة للموديول |
|---|---|
| %٠,٠ | %٠,٠ |
| %٢٥ | %٢٥ |
| %٥٠ | %٥٠ |
| %٧٥ | %٦٦ |
| %١٠٠ | %٧٥ |
| ٣ خلايا وقع عليها الظل | %٩٣ |




شكل (٤) تأثير الظل على أداء الموديول

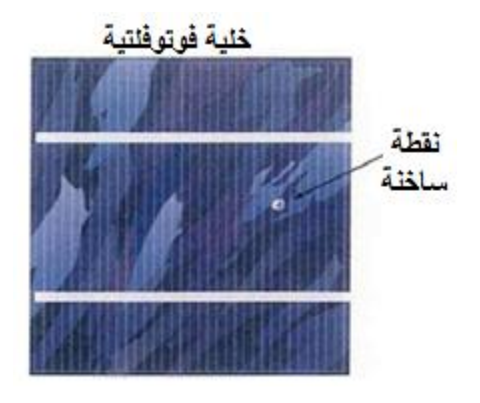
**البقعة الساخنة (Hot spot)**

قد يؤدي التشغيل تحت ظروف معينة إلى تسخين الخلايا الشمسية المتعرضة للظل ثم انهيارها. وتعرف هذه الظاهرة بظهور "البقعة الساخنة". وتسبب البقعة الساخنة انخفاض قدرة الخلايا الشمسية، وانهيار الخلايا والموديول مع زيادة زمن تعرضهم للظل .

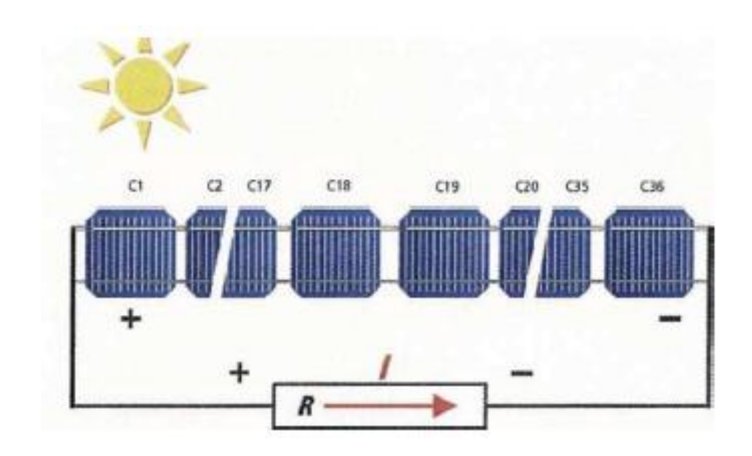
يوضح شكل (٥) خلية شمسية بها بقعة ساخنة.

ويوضح شكل (٦) موديول يتكون من ٣٦ خلية شمسية عند تعرضها للأشعاع الشمس يمر التيار بالحمل (R). إذا تعرضت الخلية رقم ٣٦ لظل نتيجة وقوع فرع شجرة عليها كما في شكل (٧) تصبح هذه الخلية كحمل كهربي، حيث لاتنتج هذه الخلية أي تيار كهربي نتيجة مرور التيار من الخلايا الأخري، ينعكس اتجاه الجهد على الخلية ٣٦. يتحول التيار المار في الخلية المظللة (الناتج من الخلايا السليمة) إلى حرارة، فإذا كان التيار عالي بما يكفي سيسبب بقعة ساخنة.

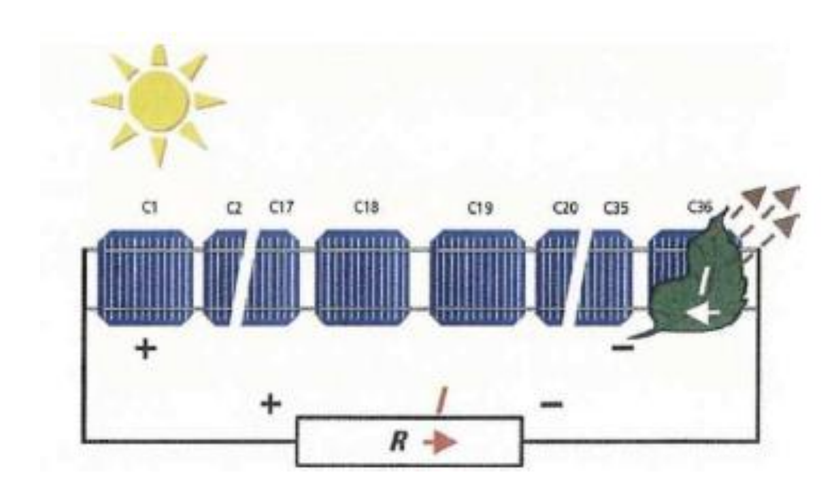
للحد من حدوث البقعة الساخنة تستخدم ديودات المسار الجانبي، والتي تمنع الجهود العالية الحادثة على الخلايا الشمسية في اتجاه الإنحياز العكسي (reverse-biased).




شكل (٥) خلية شمسية بها بقعة ساخنة




شكل (٦) موديول يتكون من ٣٦ خلية شمسية




شكل (٧) تعرض الخلية رقم ٣٦ لظل نتيجة وقوع فرع شجرة عليها

**خلايا شمسية متصلة على التوالى ( سلسلة )**

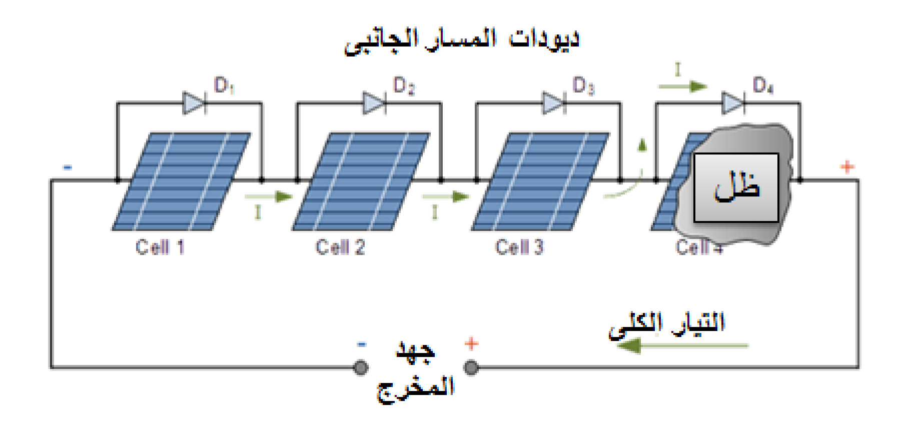
كما هو موضح فى شكل (٨)

أ- فى حالة التشغيل العادى :

جهد المخرج = مجموع جهود كل الخلايا

تيار المخرج = التيار المار ( وهو يساوى تيار أية خلية )

ب- في حالة حدوث عطل أو انهيار أو ظل على أحد الخلايا :
- تأثير حدوث ظل على جزء من خلية يماثل نفس تأثير ظل على كل الخلايا المتصلة على التوالى والنتيجة عدم مرور تيار والفقد الكامل لقدرة المخرج .
- يمر تيار الخلايا السليمة (غير المتعرضة للظل) في الخلية المتعرضة للظل مسببة سخونة زائدة وانهيارها وتعرف هذه الظاهرة بالنقطة الساخنة (hot spot heating) والتي ممكن أن تسبب حرائق.
- تسبب الخلية المظللة انخفاض التيار المار بالخلايا غير المظللة (السليمة)، ويؤدي إلى ان تقوم الخلايا السليمة بانتاج جهود أعلى من جهد الانحياز العكسي (reverse bias) للخلية العاطلة.
- تؤدي النقط الساخنة إلى تأثيرات تدميرية مثل كسر الزجاج أو الخلايا أو انصهار نقاط اللحام، أو تخفيض درجة الخلية الشمسية (degradation).

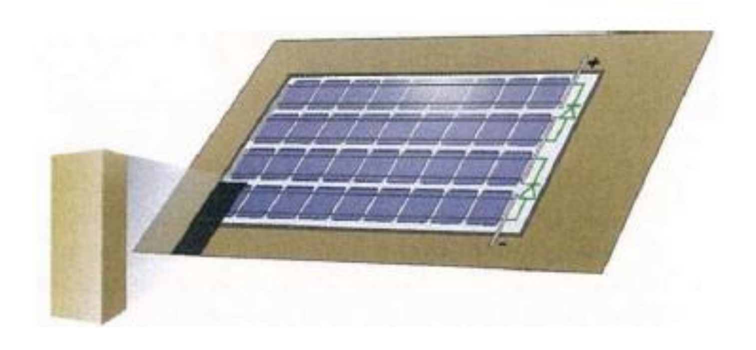



شكل (٨) مثال لخلايا متصلة على التوالى

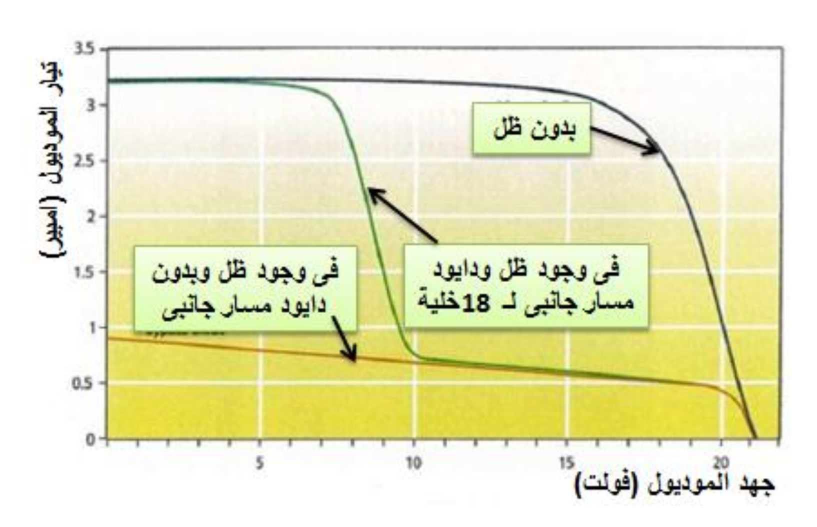
عمليا وجد أن يتم توصيل ديود المسار الجانبي كل ١٨ أو ٢٠ خلية شمسية، ولذلك فان الموديولات المحتويه على ٣٦ إلى ٤٠ خلية توصل معها دايودين، أما الموديول المحتوي على ٧٢ خلية شمسية يحتاج إلى عدد ٤ ديود مسار جانبي.
عند تعرض خلية في موديول (٣٦ خلية) للظل نتيجة قربها من مدخنة أو هوائي ، كما فى شكل (٩) ، ويحتوي الموديول على دايودين مسار جانبي، سيؤثر الظل على منحنى خصائص V-I كما في شكل (١٠) والذي يتضح منه:

- في حالة عدم وجود دايودي المسار الجانبي فإن تيار الموديول ينخفض من ٣،٢ أمبير إلى ٠،٩ أمبير تقريبا.

o في حالة وجود دايودي المسار الجانبي، يستمر التيار بنفس قيمته في الـ ١٨ خلية خلية السليمة، ثم ينخفض إلى قيمة حوالي ٠,٩ أمبير .



شكل (٩) تعرض موديول لظل




شكل (١٠) منحنى العلاقة بين الجهد والتيار فى حالتى وجود وعدم وجود الظل

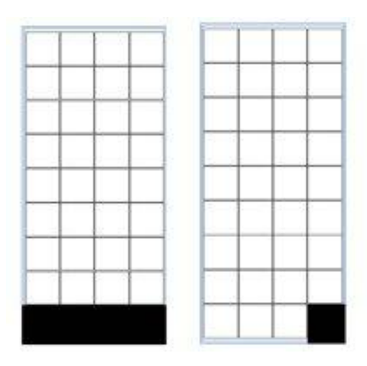
## الظل الجزئى (Partial shading)

## الظل الذاتي (self-shading)

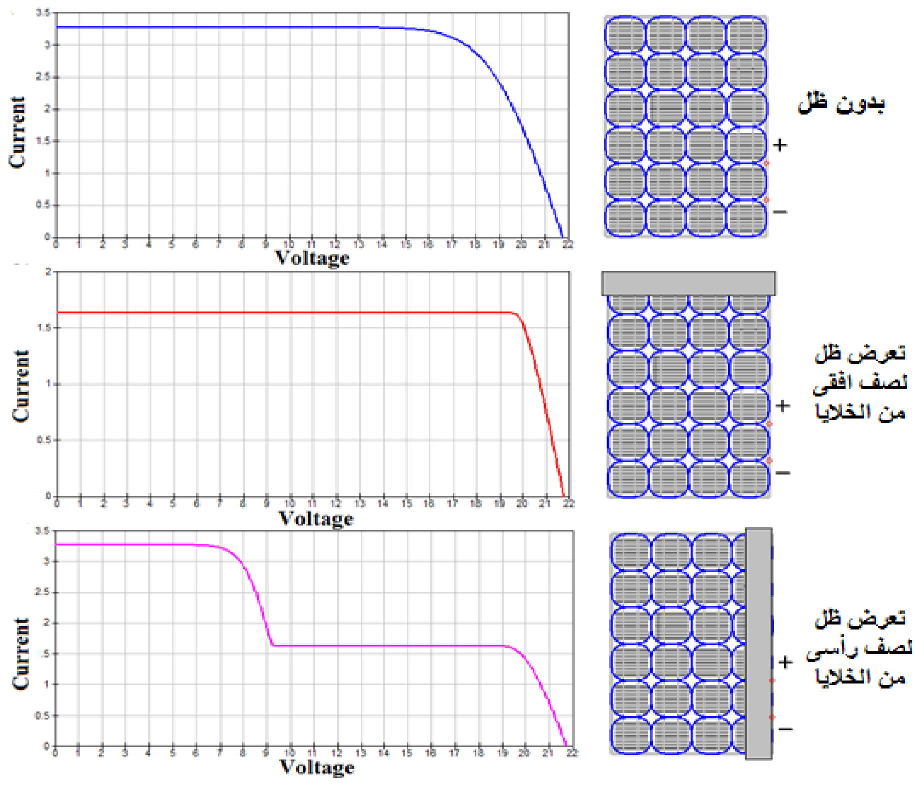
يؤدي الظل الجزئي علي خلية واحدة من موديول مكون من ٣٦ خلية إلي انخفاض قدرة المخرج ، وذلك راجع إلي ان كل خلية بالموديول متصلة علي التوالي بالسلسلة . اذا تعرضت نصف خلية للظل ، أو تعرضت نصف خلايا الصف إلي الظل ، سيحدث نفس الانخفاض في القدرة والذي يتناسب مع نسبة المساحة التي تعرضت للظل ، في هذه الحالة 50%

اذا تعرضت خليه كاملة للظل ، فان الطاقة الناتجة ستكون من باقي الخلايا ، ويعمل الموديول علي حماية نفسه . ويحدث للموديول مسار للقدرة حول سلسلة التوالي . اذا تعرضت خليه كاملة في سلسلة التوالي للظل ، كما في شكل (١١) ، فانها تؤدي الي انخفاض القدرة بنسبة 50% من القيمة الكلية المتاحه ، اذا تعرضت خلايا الصف السفلي في الموديول للظل بالكامل فيمكن ان تنخفض قدرة المخرج إلي صفر . ويكون الحل الامثل هو عدم التعرض للظل .

يوضح شكل (١٢) مثال لمديول يحتوى على دايودين مسار جانبى وتعرض للظل فى وضعين مختلفين وبالتالى اختلف منحنى التيار / الجهد فى كل وضع



شكل (١١) تعرض خلية أو اكثر للظل




شكل (١٢) مثال لمديول يحتوى على دايودين مسار جانبى
وتعرض للظل فى وضعين مختلفين

في المصفوفة المركبة فوق سطح مبنى ، كما فى شكل (١٣) ، يمكن أن تتعرض الصفوف لظل من الصفوف الأمامية في حالة ماإذا كانت الصفوف قريبة من بعضها، هذا الظل يؤدي الى فقد طاقة، وتعتمد أفضل زاوية ميل للموديول على زاوية خط العرض عند موضع التركيب.

يمكن الوصول لأقل مسافة مطلوبة بين الصفوف وأقل مفقودات نتيجة الظل من خلال التحديد المناسب للمسافة بين صفوف الموديولات كما هو واضح فى شكل (١٤) توضيح الرموز المستخدمة لحساب المسافة بين الصفوف. ولتحديد المسافة المحددة المطلوبة، يستخدم عامل استغلال المساحة (f) (area exploitation factor)

والذي يعرف كالآتي:

$$f = w/d$$

حيث :
w = عرض الموديول (module width)
d = مسافة صف الموديول
(module row distance)

يتراوح العامل f بين ٢٠%- ١٠٠% (أو من ٠,٢ إلى ١,٠ )
إذا كان f= 100% فان ذلك يشير إلى حدوث ظل مشترك محسوس بين الصفوف.
ويمكن الحصول على ظل أقل ومساحة مستغلة أفضل إذا كانت زاوية ميل الموديول صغيرة.
تحسب المسافة بين صفوف الموديولات من المعادلة التالية:

$$d=w+\frac{\sin(180-\beta-\gamma)}{\sin\gamma}$$

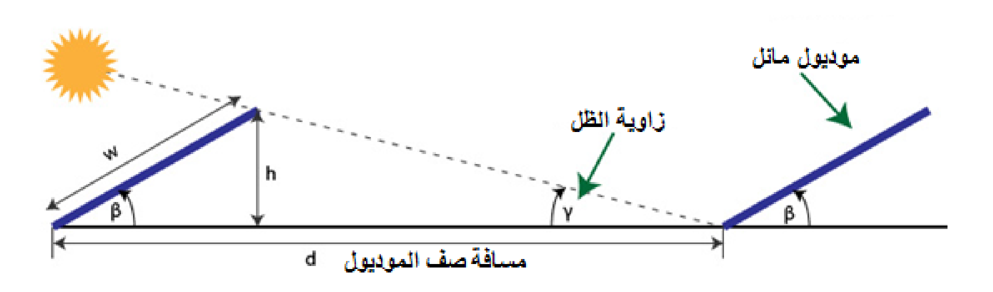
حيث

γ = زاوية الظل (shadow angle)

β = زاوية ميل الموديول (tilt angle)



شكل (١٣ ) مصفوفة مركبة فوق سطح مبنى




شكل (١٤) توضيح الرموز المستخدمة لحساب المسافة بين الصفوف

## استخدام ديودات المسار الجانبي

من الخطر عدم استخدام ديودات المسار الجانبي حيث يمكن أن تؤثر على الخلايا الفوتوفلتية المتعرضة للظل إلى الآتي:

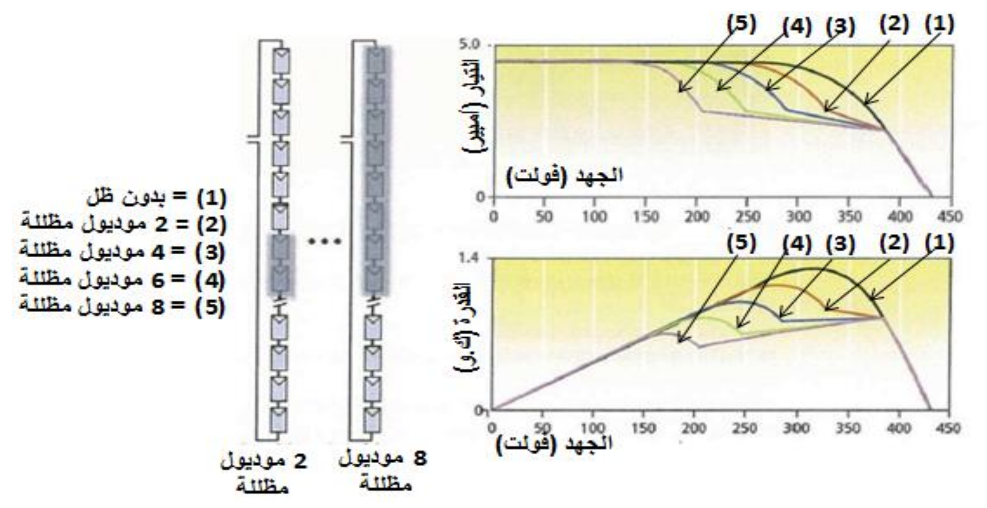
- عند تعرض خلية شمسية واحدة للظل فإنها تقضي على انتاج قدرة اللوحة.
- يمكن أن تنهار أو تحرق الخلية المظللة نتيجة تعرضها للحرارة الزائدة.

## ديودات المسار الجانبي للوقاية من النقاط الساخنة

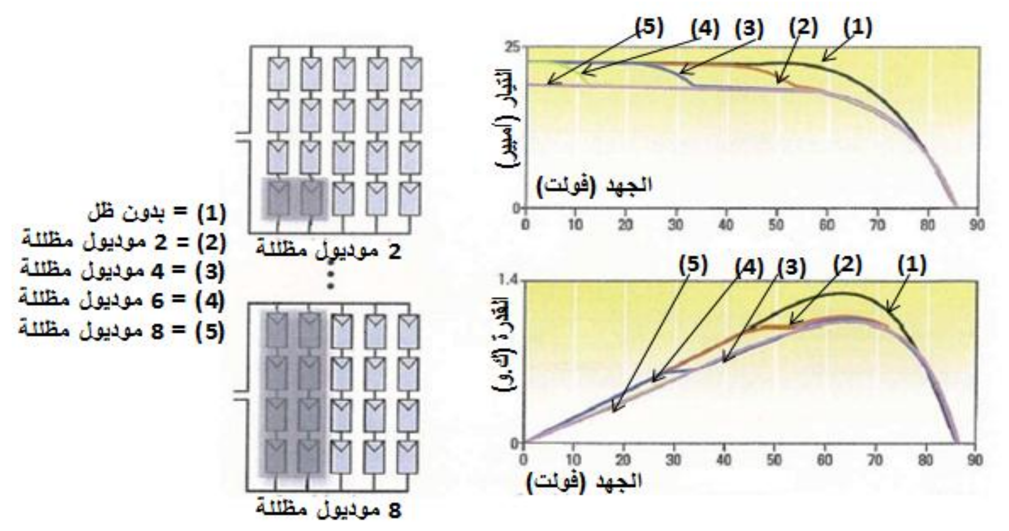
- تعتمد القدرة المفقودة في الخلية المعرضة للظل على كمية الظل والحمل. أقصى قدرة فقد عندما تتعرض نصف الخلية للظل والحمل عند أدنى قيمة.
في تجربة معملية لموديول يحتوي على ١٥ خلية، تعرضت نصف أحد الخلايا للظل، وقد وجد أن القدرة المفقودة ١٩ وات عند حمل ٠,٥ أوم.
ومن الشائع، وللوقاية من النقاط الساخنة، يجب استخدام ديود مسار جانبي واحد لكل ١٥ خلية فوتوفلتية (كحد أقصى)، بفرض أن الموديول يحتوي على ٦٠ خلية فوتوفلتية، لذلك يجب تقسيم الموديول إلى أربعة مجموعات (كل منها ١٥ خلية) ويوصل مع كل مجموعة ديود على التوازي.
- في أحد التجارب العلمية تم اجراء مقارنة بين مصفوفة فوتوفلتية تتكون من ٢٠ موديول موصلة على التوالي، ومصفوفة مكونة من أربعة سلاسل متصلة على التوازي. عند اشعاع ١٠٠٠ وات/م٢، تم تعريض عدد: ٨،٦،٤،٢ موديول للظل عن طريق تخفيض الاشعاع على هذه الموديولات إلى ٥٠٠ وات/م٢ كانت النتيجة ان للموديولات المتصلة على التوالي، لاتعتمد منحنيات الخصائص على

وضع الموديولات  المظللة، بينما في حالة المصفوفة المتصل بها موديولات على التوازي، فإن منحنيات الخصائص تختلف طبقا لإختلاف موضع الظل.

يوضح شكل (١٥) خصائص منحنيات التيار والقدرة عند تعرض عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات متصلة توالى للظل، ويوضح شكل (١٦) خصائص منحنيات التيار والقدرةعند تعرض عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات ( بعدد سلسلتين) للظل ،بينما يوضح شكل (١٧) خصائص منحنيات التيار والقدرة عند تعرض عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات (بعدد ٤سلاسل)  للظل ، من هذه الاشكال يتضح صعوبة تحديد قدرة المخرج للموديولات (للمصفوفات) التى لم تتعرض للظل .

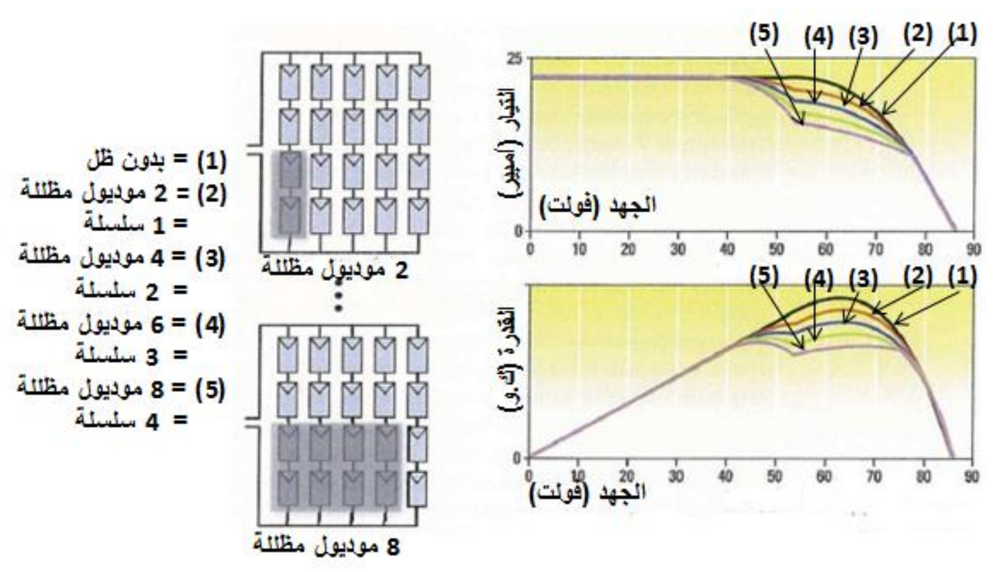



شكل (١٥) خصائص منحنيات التيار والقدرة  عند تعرض عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات متصلة توالى للظل




شكل (١٦) خصائص منحنيات التيار والقدرةعند تعرض

عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات ( بعدد سلسلتين) للظل



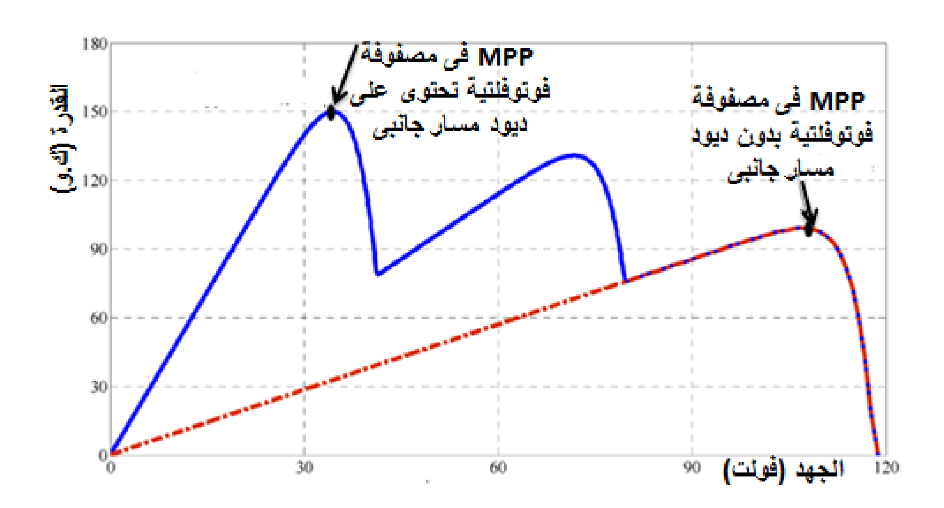

شكل (١٧) خصائص منحنيات التيار والقدرةعند تعرض
عدد ٢ ، ٤، ٦ ، ٨ موديولات (بعدد ٤سلاسل) للظل

## علاج ظلال الشمس (Solution to solar shading)

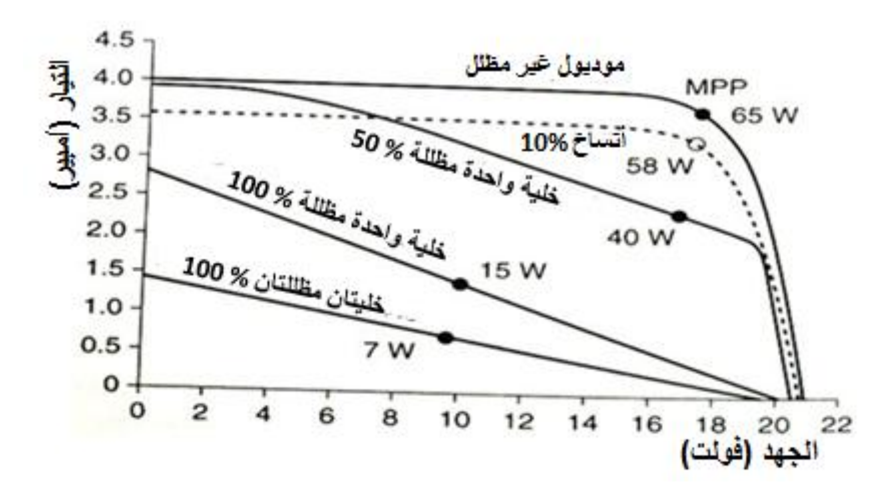
- عند بداية اجراء مسح ودراسة لموقع المحطة الشمسية، يجب مراعاة عدم وجود ظلال يوميا أو موسميا من المباني المجاورة أو الاشجار أو المداخن ... فمن المعلوم أن:
"عمر تشغيل الخلايا الشمسية حوالي ٢٥ سنة، وهذه السنوات كافية لنمو الأشجار بوفرة وكثافة"
لذلك يجب مراقبة الأشجار- إن وجدت- بصفة دورية وتقليمها لمنع الظل على الخلايا.
- البلاد التى تتعرض للسحاب بكثافة خلال فترات متعددة يوميا تصبح معرضة للتغير وانخفاض قدرة مخرج الخلايا الشمسية ، ولكنها ظاهرة لا مفر منها ، فى هذه الأماكن يوصى باستخدام خلايا سيليكون غير البلورى (amorphous) لأنه أفضل تعاملا مع الظلال من خلايا السيليكون البلورى ، ولكن عموما فإن الخلايا غير البلورية تكون أقل كفاءة من الخلايا البلورية . ولذلك يوصي فى هذه الحالة أيضا باستخدام الخلايا السيليكون البلورى .
- توصيل ديودات المسار الجانبى على التوازى مع كل خلية ، وبذلك يخلق الديود مسار للتيار وتستكمل الدائرة ويمنع الحرارة الزائدة .
نموذجيا يمكن أن يتم توصيل ديود على التوازى مع كل خلية ولكن عمليا يوصل ديود على التوازى مع مجموعة من الخلايا الشمسية وبذلك فإن الوظيفة الرئيسية لديودات المسار الجانبى هو حماية الخلايا الشمسية ضد مشاكل النقاط الساخنة .
- يعتبر عاكس متتبع أقصى نقطة قدرة (MPPT) هو أكثر العاكسات جودة لأن له المقدرة على أن يبلغ معدل الاختلاف بين قيم متغيرات جهد وتيار عدد سلسلتين أو أكثر فى اللوحة ، حتى عندما يكون مخرج أحد السلاسل أقل من القدرة المثالية ، فإنة يظل قادرا على تتبع واضافة هذا إلى السلاسل الأكثر قدرة على إنتاج مخرج مناسب للاستخدام .بينما العاكسات التقليدية ، غير المحتوية على MPPT فإنها تفقد ببساطة مخرج السلسلة ذات المخرج الضعيف ، بمجرد أن تصل إلى قدرة مخرج أقل من مخرج البداية المطلوب .

يوضح شكل (١٨) مقارنة بين حالتى مصفوفة تعرضت للظل فى وجود ديودات مسار جانبى وعدم وجودها

ويوضح شكل (١٩) تغير قيمة نقطة MPP مع حالات مختلفة لخلايا تعرضت للظل




شكل (١٨) مقارنة بين حالتى مصفوفة تعرضت للظل فى وجود ديودات مسار جانبى وعدم وجودها




شكل (١٩) تغير قيمة نقطة MPP مع حالات مختلفة لخلايا تعرضت للظل

**لتقليل تأثيرات الظل**

أحيانا لايمكن تجنب بعض الظلال على مصفوفة الفوتوفلتية، وهناك بعض الطرق لتقليل التأثير بقدر الامكان، بالاضافة إلى التوصية بزيادة الموديولات بالمصفوفة حتى يمكن تعويض انخفاض الكفاءة ، من هذه الطرق :

- التعويض بزيادة لوحات إضافية

إذا كان الظل يحدث على جزء محدد بالمصفوفة في اليوم، فيمكن التعويض بإضافة لوحات شمسية وتركيبها بعيدا عن العوائق وذلك للحصول على أقصى مخرج قدرة خلال نفس الفترة في اليوم.

- تركيب الموديولات البلورية أفقيا

يجب تركيب الموديولات أفقيا دائما وليس رأسيا، كل موديول يحتوي على ديودين مسار جانبي والتى تكون فعالة عند التعرض للظل. إذا كان الموديول مركبا أفقيا وتعرض للظل عند النصف السفلي، عندئذ سيكون هناك ديود واحد فعال وينتج الموديول قدرة حتى ٥٠% من سعته. أما إذا كان الموديول مركبا رأسيا فإن الظل عند أسفل الموديول سيجعل الديودين في الحالة الفعالة وبالتالي لا ينتج الموديول قدرة.

- غير شكل وضع المصفوفة لتجنب الظل

بدلا من تركيب المصفوفة بالطريقة التقليدية، أي في صف مستطيل، يمكن تركيبها على شكل دائرة واختيار الأماكن التي لاتتعرض للظلال. أو توزيعها وتقسيمها على أماكن متفرقة.

- استخدام عاكس له مداخل متعددة:

بعض العاكسات لها مداخل منفصلة لكل سلسلة، إذا حدث ظل على أحد السلاسل فإن باقي السلاسل تعمل عند MPP.

# الباب الثالث عشر
# تركيب الأنظمة الفوتوفولتية
# The installation of photovoltaic systems

لتركيب الأنظمة الفوتوفلتية يلزم أدوات يدوية مثل :

- مجموعة مفكات مقاسات مختلفة
- أداة لتقشير الأسلاك والكابلات
- جهاز لقياس المتغيرات الكهربائية
- سلاح متعدد الإستخدام
- كماشة و مثقاب و مطرقة
- أداة للقص و منشار معدنى
- ميزان بناء
- شريط قياس
- سلم

يوضح شكل (١) بعض الأدوات المستخدمة فى تركيبات الأنظمة الفوتوفلتية



شكل (١) أمثلة لبعض الأدوات المستخدمة لتركيب الأنظمة الفوتوفلتية

عام :

- يمكن أن تسبب التاثيرات علي السطح الأمامي أو الخلفي للخلايا الفوتوفولتية ، أو علي الحواف ، أو علي صندوق التوصيلات ، انهيارات لا يمكن إصلاحها .
- يجب أن يتم تداول ونقل الموديولات بالمعدات المناسبة والخاصة بذلك (مثل حاملات الزجاج)
- تخزن الموديولات علي سيفها، ويكون صندوق التوصيلات إلي أعلي .
- لا تحمل الموديولات أبدا علي صندوق التوصيلات الخاصه بها
- لا يسمح لأحد بالمشي علي الموديولات
- تحذير ، يمكن أن ينتج عن الموديول المكسور مخاطر الصدمة الكهربائية ، لاحظ الكسر بشكل (٢) .
- دائما تحفظ الموديولات مسطحة ( غير منحنية)
- أبدا لا تحاول فك تجميع الموديولات
- تكون أدوات التركيب المستخدمة معزوله كهربيا
- تركيب حماية ضد العوامل الجوية الشديدة ، كذلك ضد الصواعق والتي تتوافق مع الموقع واللوائح المحلية.



شكل (٢) جزء من موديول مكسور

**كيف يمكن تركيب الخلايا الفوتوفولتية ؟**

### ١. المكان والزاوية :

كلما استقبلت الخلايا الفوتوفولتية ضوء الشمس أكثر كلما أنتجت طاقة كهربائية أكثر . وعلي ذلك يجب دائما أن تركب الخلايا بحيث تستقبل أكبر كمية ممكنة من ضوء الشمس خلال اليوم (أو خلال السنة ).

ولتحقيق ذلك :

- تثبيت الخلايا علي سطح غير معرض لأية ظلال وتكون متجهه إلي الشمس وقت الظهيرة
- في حالات خاصة يمكن أن تكون الخلايا قابلة للحركة لإمكانية توجيهها إما يدويا أو أتوماتيكيا في اتجاه الشمس وذلك للاستفادة من الشمس طوال اليوم وفي جميع فصول السنة .
- للأماكن في نصف الكرة الجنوبية ، يجب تثبيت الخلايا الشمسية بحيث تتجه إلي الشمال وبزاوية ميل مع الأفقي بين 5 : 15 درجة (تبعا لموضع الشمس وقت الظهيرة )
- تكون زاوية ميل الخلايا الشمسية مساوية لزاوية خط العرض

### ٢. التبريد :

من الأهمية ترك مسافة بين الخلايا وبين سور سطح المبني الذي سيتم التركيب عليه . تعمل الخلايا بكفاءة عالية وافضل عند تعرض الخلايا لتبريد مناسب . بحيث تكون المسافة المتروكة تسمح بمرور الهواء حول الخلايا .

### ٣. تثبيت الخلايا :

يوضح شكل(٣) مكونات هياكل تثبيت الخلايا(الموديولات / المصفوفة )الفوتوفلتية

- لأن الخلايا الشمسية تكون معرضة دائما إلي الرياح وحالات الجو المختلفة ، فمن الأهمية أن يكون التثبيت آمن ومقاوم للصدأ ، وألا تكون الرباطات غير جيدة يوضح شكل (٤) الطرق الشائعة لتركيب الموديولات / المصفوفة .

- يكون التثبيت علي الاسطح أرخص من التثبيت علي عمود ،
ولكن في حالة ما اذا كانت الاسطح معرضة للظلال أو صعوبة توجيه الخلايا جهة الشمس عندئذ يوصي بتركيب الخلايا الشمسية علي عمود . عادة تكون المسافة بين الخلايا المثبتة علي عمود والبطاريات أطول من المسافة بين الخلايا المركبة علي السطح والبطاريات ، ولذا تستخدم مقاسات الكابلات المناسبة التي لا تسبب مفقودات في الطاقة .
- عادة يفضل استخدام الكابلات الارضية (الموصلات) عن استخدام الموصلات الهوائية
- يتم تركيب الموديولات بحيث لا تتأثر استمرارية الارضى نتيجة التركيبات .
- تستخدم مسامير من صلب لا يصدأ (مسمار قلاوظ أو مسمار قلاوظ بصامولة)ولا تستخدم مسامير خشابي(والتي يحدث لها فك أو ارتخاء).
- يجب ان تكون الصواميل والقلاوظ قابلة للفك .
- عند تركيب خلايا شمسية علي عمود عندئذ يجب التثبيت الامن علي الارض وترتكز علي المبني ان امكن .




شكل (٣) مكونات هياكل تثبيت الخلايا (الموديولات / المصفوفة )الفوتوفلتية




شكل (٤) الطرق المختلفة لتثبيت المديولات / المصفوفة

**٤ ـ ملاحظات هامة يجب مراعاتها عند الاستلام :**

- عدم وجود انكسار أو تشقق أو تمزق بالسطح الخارجى بما فيها الطبقات العلوية والسفلية والاطارات العازلة وصناديق التوصيل .
- عدم إنحراف أو إنحناء الأسطح الخارجية بما فيها السطح العلوى والسفلى والإطارات وصناديق الإتصال إلى الإمتداد الذى يسبب إضعاف تركيب أو تشغيل الموديولات .
- عدم وجود تصدعات فى الخلايا والذى يمكن أن يسبب انتشارها إزالة أكثر من ١٠% من مساحة الخلية أو الموديول من الدائرة الكهربائية للموديول .
- عدم وجود فقاعات أو تشققات والتى يمكن أن تكون مسار متصل بين أى جزء من الدائرة الكهربائية و حافة الموديول .
- قلة امتداد الإستقامة الميكانيكية غير الجيدة والتى تسبب ضعف تركيب أوتشغيل الموديول .

**٥- أنواع الموصلات والكابلات :**

توجد أنواع متعددة من الموصلات .من الأهمية استخدام النوع الصحيح منها عند تركيب نظام شمسي فوتوفلتية .

**نوع الموصلات :**

تستخدم موصلات من الألمونيوم أحيانا، ولكن في التطبيقات المنزلية والأنشطة التجارية الصغيرة تستخدم موصلات نحاس ، وغالبا يكون الموصل النحاس مصمت ( solid)ومغلف بعازل ، وفي العادة تكون الموصلات المصمتة أقل تكلفة ولكن لا تكون مرنة ، واذا حدث إنحناء أو إلتواء في مسار الأسلاك ، فانه بعد وقت يحدث قطع بالموصل.

ويتكون الموصل من عدة أسلاك رفيعة (مقطع صغير ) مجدوله معا داخل غلاف عازل، (standard wire) .إذا كان مقاس كل سلك مجدول ، مثلا ، ٠،١ مم٢ ، فيكون مقاس الكابل المحتوي علي ٢٥ سلك مجدول يساوي ٢،٥ مم٢

مرونة الكابلات هي الميزة الرئيسية للموصلات المجدولة . كلما زاد عدد الأسلاك المجدولة بالموصل كلما كان الكابل أكثر مرونة . كهربيا لا يوجد اختلاف بين موصلات مصمتة وأخري مجدولة لهما نفس المقاس .

يكون السلك المصمت أرخص ومقبول للانشاءات الثابتة . وعادة يكون السلك المجدول هو الأفضل لجميع التطبيقات عندما لا يكون الكابل ثابت في مكان ما .

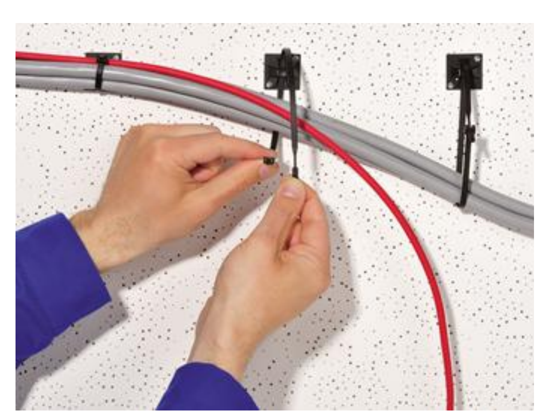
**قواعد هامة للكابلات والتوصيلات :**

١) لا تستخدم أبدا أطوال أسلاك أكثر من الاحتياج الفعلي
٢) لأسلاك الأنظمة الفوتوفولتية جهد ١٢ فولت يجب ألا يتعدي أقصي هبوط جهد (voltage drop) ٠,٥ فولت ، وللجهد ٢٤ فولت لا يتعدي ١ فولت
٣) يجب ألا يتعدي هبوط الجهد الكلي من أبعد موديول بالمصفوفة إلي أطراف التطبيقات عن ٢ % من جهد مصفوفة الخلايا الفوتوفولتية عند أقصي نقطة قدرة (mpp) .
٤) دائما استخدم النوع الصحيح المناسب من الكابلات طبقا للغرض .يجب أن يكون مقتن عزل الكابلات المدفونة مناسبا للوضع تحت الأرض . كما يجب أن تكون للكابلات المعرضة لضوء الشمس درجة عزل خارجي مناسبة
٥) تكون جميع مجاري الكابلات والقنوات والمواسير من الصلب المجلفن بالغمس علي الساخن ، كما فى شكل (٥)
٦) لحماية الكابلات من الأشعة الشمسية فوق البنفسجية ومن درجات الحرارة العالية ، يجب أن تكون موصلات الكابلات المركبة خارج المبني ، من النحاس ولها غلافين (HO7RN-F)
(Harmonized Flexible rubber heavy duty trailing cable ) ، وتمر داخل مواسير XLPE أو PVC

**٦- العزل :**

يكون الغرض من وجود عزل علي الكابل أو السلك هو حماية الوصلات الكهربائية ضد الصدمات ، لكي لا تفقد الكهرباء خلال التسريب إلي المواد المحيطة بالسلك . كما يختص العزل بالحماية ،يمكن أن يسبب العزل غير الجيد حرائق أو دائرة قصر .





شكل (٥) مجاري الكابلات والقنوات والمواسير من الصلب المجلفن

**<u>اجراءات التركيبات :</u>**

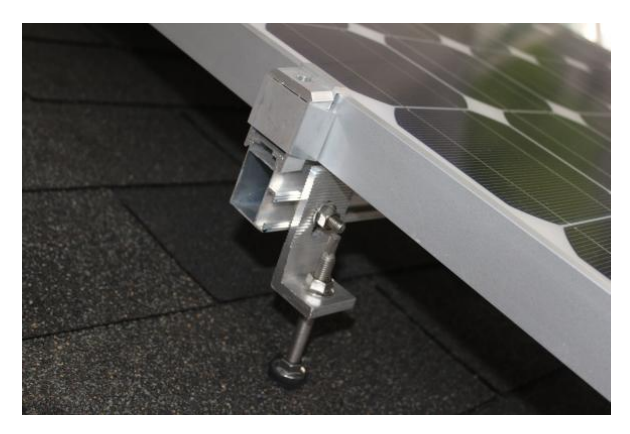
**أ- مراجعه أولية**

- لا يتعرض السطح (الذي يتم معاينته)لأية ظلال
- تحديد المساحة المتاحة من السطح
- التأكد من تحمل البناء للتركيبات
- تضيف الخلايا حمل اضافي حوالي من ٣- ٥ رطل لكل قدم مربع ، وهي تمثل قيم بسيطة ولا تحتاج لمهندس انشاءات

**ب- الحاملات والرباطات**

- تكون المسافة بين مصفوفات الخلايا الفوتوفولتية حرجه . نتيجة حركة الشمس من أعلي ارتفاع لزاوية السمت (azimuth) خلال شهور الصيف إلي أقل ارتفاع خلال شهور الشتاء ، وفي أي من الحالتين يجب ألا تتعرض الخلايا للظلال . يمثل الظل الرأسي الجزئي حالة دائرة قصر (short circuit) علي جزء من الخلية ، ولكن الظل الأفقي يؤدي إلي وقف إنتاج الكهرباء من داخل الخلية وبالتالي من المصفوفة .يجب الاهتمام بالمسافات في مرحلة التصميم وقبل بدء الانشاءات . تجهز القوائم (الساق) بامكانية أقل ضبط وذلك باستخدام ورد مسطحة للحفاظ علي مستوي العارضات .
- عند تركيب أول خلية يراعي الاستقامة والاصطفاف

يجب الحفاظ علي نفس الزاويه لجميع الموديولات في المصفوفة (حتي لو لم يكن السطح مستو ) وذلك لضمان أن يكون الجهد الناتج متساويا. ربما يحتاج إلي إجراء ضبط الحاملات أو القوائم ، ويوضح شكل (٦) وسيلة لضبط الموديول .



شكل (٦) وسيلة لضبط الموديول .

ت- **المواسير والموصلات**

يجب تأريض صناديق التوصيلات ، ويوجد العديد من الاشتراطات عند استخدام صناديق توصيل بلاستيك (مقاوم ضد المياه والثلوج) مع مواسير معدن . إذ يجب توصل المواسير المعدنية بالأرضي .

ث- يحتاج االعاكس إلي مظلة للحماية من العوامل الجوية أو أن يكون داخل صندوق كما فى شكل (٧).





شكل (٧) العاكس داخل صندوق للحماية من الأحوال الجوية

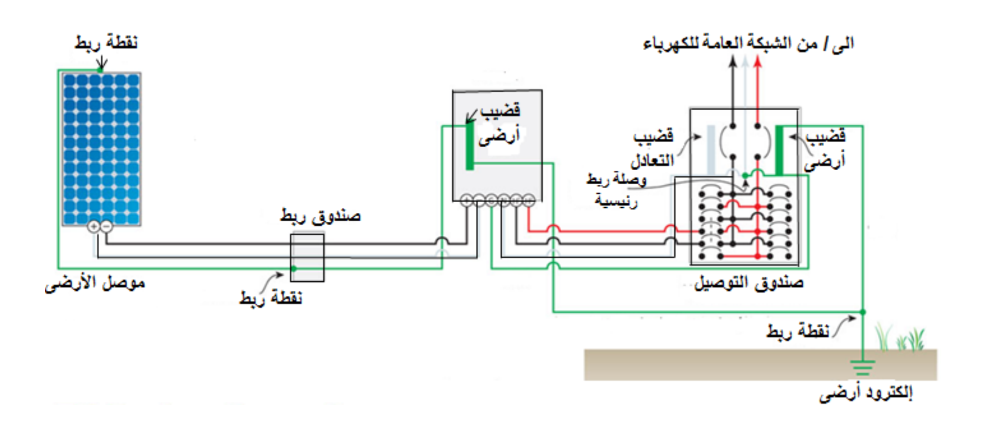
ج- **متطلبات تأريض الأنظمة الفوتوفلتية**

من الضرورى تأريض مكونات النظام ، أى توصيل المكونات المعدنية للنظام بإلكترود التأريض ( ground electrode ) ( وهو موصل مدفون بالأرض لضمان تساوى الجهود الكهربائية لجميع الموصلات الأخرى المتصلة به مع جهد الأرضى ) بغرض تقليل أو منع مخاطر الحريق أو التعرض للصدمة الكهربائية بالأضافة الى تحقيق متطلبات المواصفات القياسية العالمية.مكونات النظام التى يجب تأريضها :

- اطار الخلايا الفوتوفلتية
- هيكل تثبيت الخلايا الفوتوفلتية
- جسم العاكس
- صندوق التوصيل ( إذا كان من المعدن )
- مفاتيح الفصل ( اذا كانت من المعدن )

يتم تأريض أى نظام بطرق مختلفة ، وتكون الطريقة التقليدية عمل نقطة ربط أرضى لكل مكون أو لكل خلية أو موديول وتوصلها جميعا معا من خلال سلك نحاس مكشوف قياسى ، هذه الطريقة صعبة وتستهلك وقت طويل ومكلفة .

يوضح شكل (٨) نظام التأريض لمكونات محطة فوتوفلتية .




شكل (٨) نظام التأريض لمكونات محطة فوتوفلتية

توجد صعوبة عند تأريض موديولات ( PV ) نتيجة استخدام موصلات النحاس لتوصيل كل موديول بالأرضى بينما نقط الربط على اطارات الموديولات والمصنعة من الألومنيوم حيث تظهر مشكلة عدم توافق معدني النحاس والألومنيوم والمسببة لحرائق بالاضافة إلى أن تلامس المعدنين يؤدى إلى تآكل خلال عملية الجلفنة ( طلى بالزنك ) . ويكون سطح الاطارات الألومنيوم أما مؤكسدة طبيعيا أو آنودية ( anodized ) أو لها طبقة طلاء واضحة ، وأى منهم لا توفر أى حماية من الصدمات الكهربائية وهذا يكون كافى لحدوث أضرار على المدى الطويل ، مع انخفاض المقاومة الكهربائية للموصلات . أما عند استخدام أسلاك نحاس مكشوفة للرباطات ، عندئذ يجب أن تكون معدات التثبيت والربط التى ستلامس النحاس من صلب غير قابل للصدأ ( stainless steel )

حاليا يوجد العديد من معدات التأريض المناسبة والمستخدمة للتوصيل المباشر بين اطارات الموديولات الفوتوفلتية والأرضى من خلال قضبان ألومنيوم أو أنظمة التثبيت الأخرى .

تكون القضبان ( rails ) متصلة معا ومع الأرضى . وقد انتشرت هذه المعدات تحت اسم : "Washer, Electrical Equipment Bonding" ( حلقة أو وردة ربط المعدات الكهربائية ) والتى يرمز لها بالحروف ( WEEB ) . تحتوى بعض هذه المعدات على ورد لها أحرف حادة لتخترق الطلاء غير الموصل للاطار الألومنيوم للموديولات وحوامل التثبيت ، عندئذ تكون هياكل التثبيت نفسها مؤرضة وبالتالى تصبح المكونات الداخلية للتجميع مؤرضة . تتكون عائلة WEEB من ٦ منتجات ، تعرف بالأسماء الاتية :
WEEB-9.5, WEEB-DMC, WEEB-PMC, WEEB-SMC, WEEB-UMC, and WEEB Lug.

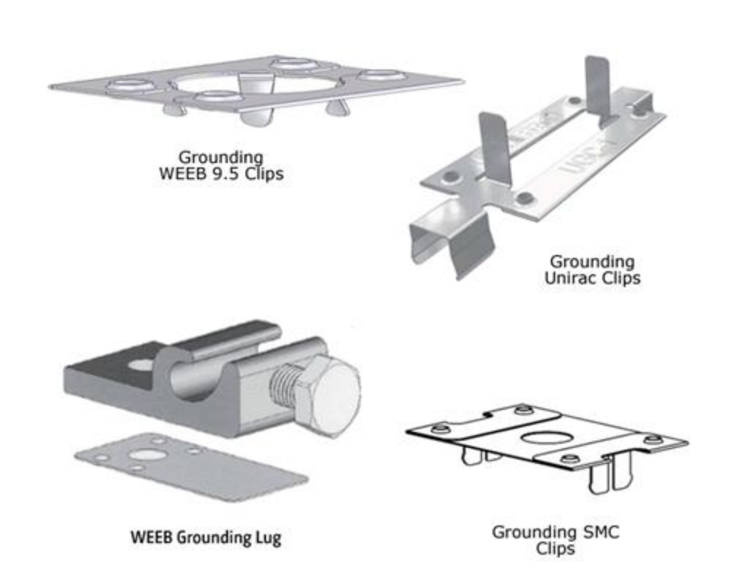
توضح الأشكال (٩) ، (١٠) ، (١١) ، (١٢) نماذج من هذه المعدات ، مثلا يستخدم الطراز WEEB-9.5 لربط الموديولات بالأرضى ولأنظمة التثبيت على عمود . ويجهز الطراز WEEB Lug التوصيلات إلى نظام التثبيت ويمتاز بأن له موضع لموصل أرضى المعدة . ولقد اكتسب نظام WEEB إنتشارا واسعا لأنه يوفر الوقت حيث لا يحتاج إلى أراضى منفصلة لكل موديول .

ويوضح شكل (١٣) استخدامات مختلفة لمعدات WEEB للموديولات

بينما يوضح شكل (١٤) تأريض الموديولات معا




شكل (٩) نماذج من المعدات WEEB



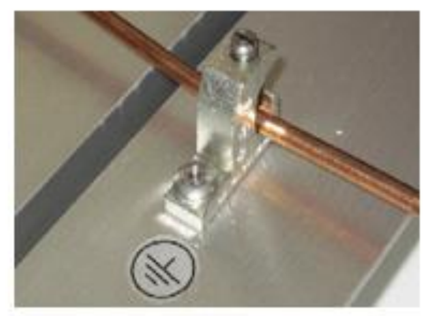

شكل (١٠) نماذج من المعدات WEEB



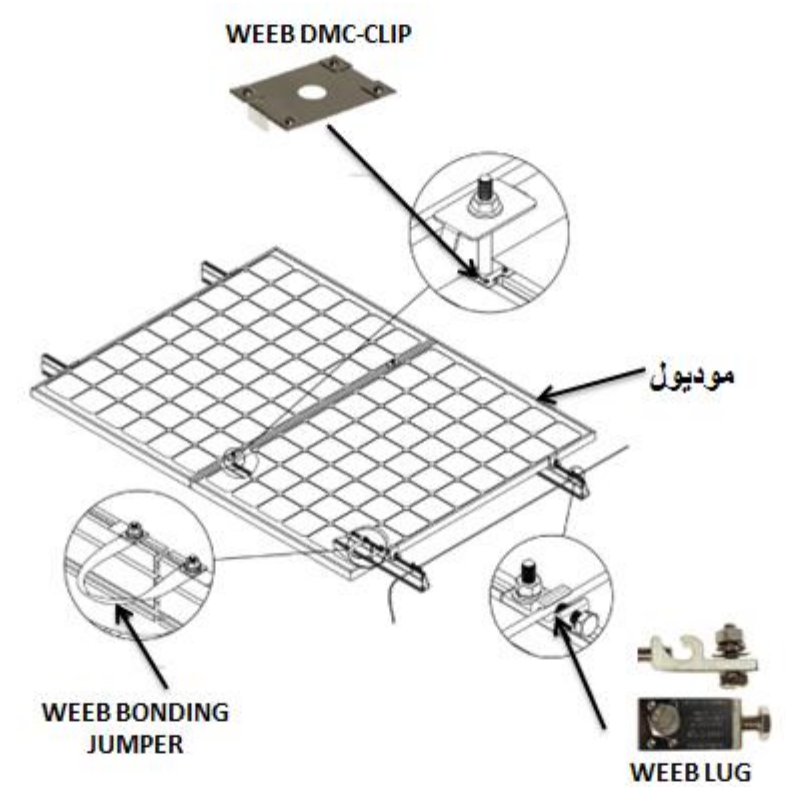

شكل (١١) نماذج من المعدات WEEB



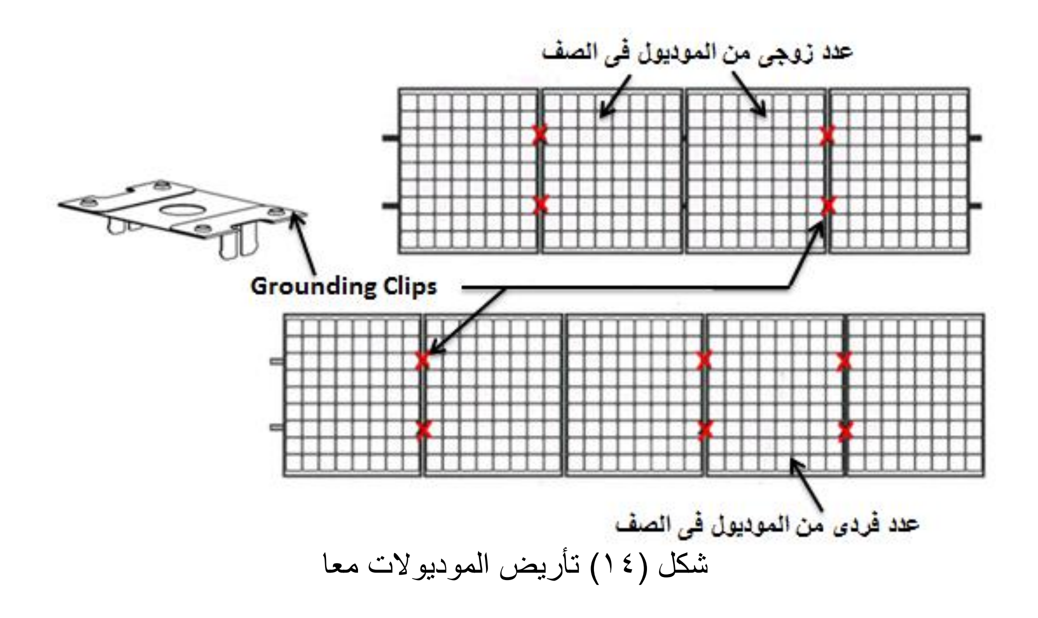




شكل (١٢) رباط الأرضى




شكل (١٣) استخدامات مختلفة لمعدات WEEB



شكل (١٤) تأريض الموديولات معا

# الباب الرابع عشر
# تركيب ألواح الطاقة الشمسية
# Installation of solar panels
# (ألواح الفوتوفلتية )

سنعرض فى هذا الباب كيفية تركيب ألواح الطاقة الشمسية من ناحية التوجيه ( التوجيه هو في أي اتجاه وبأي زاوية ميل سيتم توجيه ألواح الطاقة الشمسية الخاصة بالمكان اعتمادا علي الموقع الجغرافي). علما بأنه توجد حسابات أخري تعتمد علي وزن الألواح والاطارات المصنوعة من الصلب التي سيحتاج لها لكي تحمل ألواح الطاقة الشمسية دون حدوث أي اهتزاز او انهيار لها.

من المعروف أن الشمس يتغير موقعها في السماء من ساعة إلي أخري ومن يوم الي آخر ومن شهر إلي شهر. وعلي الرغم من أهمية ذلك لتتابع الليل والنهار وكذلك فصول السنة فإن هذا يثير اهتمام المهتمين بالطاقة الشمسية كثيرا. ودائما يظهر السؤال : في أي اتجاه يجب توجيه ألواح الطاقة الشمسية الخاصة بالموقع مكان التركيب ؟ يجب أن نعلم أولا كيف نستطيع تحديد اتجاه ألواح الطاقة الشمسية في اي مكان علي سطح الكرة الأرضية؟.

**أولا : كيف يتغير اتجاه الشمس علي مدار اليوم؟**

كما هو واضح في شكل (١) لو تم ثبتت عصا علي الأرض ستجد أن ظلها في أول النهار يكون أطول من العصا نفسها وأرفع منها، ولكن في وسط النهار سنلاحظ أن طول الظل أقصر وفي نفس سمك العصا تقريبا، ثم في آخر النهار سيعود الظل رفيعا وطويلا كما بدأ في أول النهار



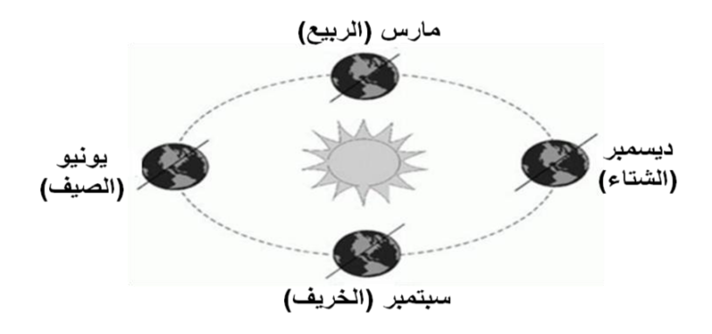
**أول النهار** **وسط النهار** **اخر النهار**

شكل (١) ظل عصا على الأرض على مدار اليوم

بالطبع هذا التغير يعتمد علي حركة دوران الأرض حول محورها، الأمر الذي يجعل وضع الشمس في السماء يختلف بشكل يتناسب مع زاوية دوران الأرض.

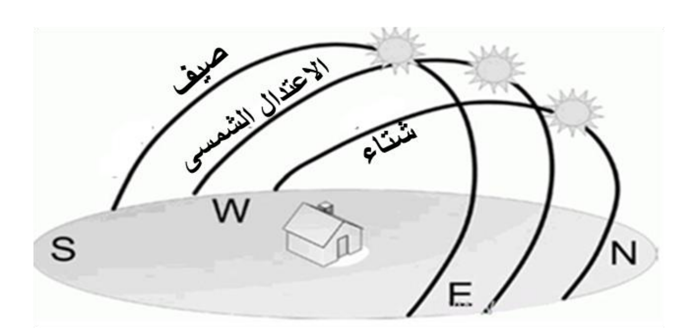
## ثانيا : كيف يختلف اتجاه الشمس علي مدار السنة؟

من المعروف أن الأرض تدور حول محورها المائل بزاوية **23** درجة تقريبا وفي نفس الوقت تدور حول الشمس دورة كاملة كل **365** يوما . وهذا الميل يجعل أحد نصفي الكرة الشمالي أو الجنوبي مواجه للشمس والآخر بعيد نسبيا ولذلك ستجد دائما أن فصول السنة في أي وقت في نصف الكرة الشمالي يقابلها الفصل المعاكس في نصف الكرة الجنوبي. ولهذه الأسباب ستجد وكما هو واضح فى شكل (٢) أن كمية الأشعاع الشمسي الساقط علي أى منطقة إقامة ، يتناسب مع درجة خط العرض التي تقع عليه المدينة التى بها المنطقة .




شكل (٢) فصول السنة بالنسبة لنصف الكرة الشمالي
(لاحظ أن النصف الجنوبي هو العكس مباشرة)

في شكل (٣) منزل يقع في نصف الكرة الجنوبي ، ستجد أنه في أي فصل من فصول السنة الشمس دائما تميل ناحية الشمال، وعلي العكس تماما فمن يعيش في نصف الكرة الشمالي سيجد أن الشمس دائما في أي فصل من فصول السنة تميل ناحية الجنوب.




شكل (٣) تمثيل الشمس بالنسبة لمنزل يقع فى نصف الكرة الجنوبى

وللربط بين ما تم استعراضة وبين كيفية اختيار الجهة وزاوية الميل التي سيتم تركيب ألواح الطاقة الشمسية بها؟ وفيما يلى ايضاحا لهذه النقطة:

• اتجاه تركيب ألواح الطاقة الشمسية

أيا كان المكان فدائما تشرق الشمس من الشرق وتغرب من الغرب. ولكن دائما الشمس متعامدة علي خط الاستواء ولذلك اذا كان المكان في نصف الكرة الشمالي ( وهذا هو الحال في معظم البلاد العربية تقريبا ) وبما أن خط الاستواء يقع في الجنوب عندئذ سيحتاج دائما إلى جعل ألواح الطاقة الشمسية مواجهة للجنوب

• زاوية ميل توجيه ألواح الطاقة الشمسية

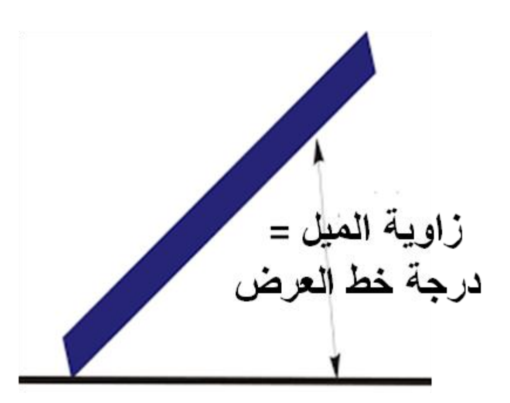
• اذا كانت المدينة تقع علي خط الأستواء ستنظر ألواح الطاقة الشمسية الي الأعلي مباشرة بشكل افقي.

• اذا كان المكان يقع في القارة الجنوبية ستكون ألواح الطاقة الشمسية رأسية.

• ولكن في حالة البلدان المتوسطة ، فى مصرمثلا ، عند تركيب الألواح الشمسية اعتمادا علي زاوية ميل الشمس في فصل الصيف ، فلا يمكن الحصول في فصل الشتاء علي أقصي كمية للاشعاع الشمسى .

وذلك لارتفاع زاوية الشمس في السماء صيفا، وتقل في الشتاء وتكون في وضع متوسط في فصل الخريف والربيع.

وهذا يعنى أن زاوية الميل يجب أن تختلف في كل فصل عن الآخر حتي يتحقق أقصي استفادة في كل فصل. ولكن غالباهذا لن يحدث.




هناك قاعدة تقول أنه لتحقيق أعلي استفادة من الاشعاع الشمسي في كل فصول السنة فيجب اتباع الاتى :

- في فصل الصيف : زاوية الميل المثالية = (درجة خط العرض - **15** درجة)
- في الخريف والربيع: زاوية الميل المثالية = درجة خط العرض
- في فصل الشتاء : زاوية الميل المثالية = (درجة خط العرض + **15** درجة)

وفى حالة عدم تغيير زاوية الميل تبعا لكل فصل فيتم ضبط الزاوية علي زاوية ميل فصل الشتاء وعندئذ ستعمل الخلايا أيضا في باقي فصول السنة بكفاءة جيدة . ملحوظة : ويمكن الحصول علي درجة خط العرض الخاصة لأية مدينة أو مكان من كتاب أطلس الشمس أو من جوجل ايرث ، والتى تكون محددة بدرجة دقة عالية.

يجب العلم بأنه عند تركيب ألواح الطاقة الشمسية التفادي بقدر الإمكان أن يكون التركيب في مكان يقع عليه ظل من أي مبني أو منشأة أو أشجار محيطة بالمكان .

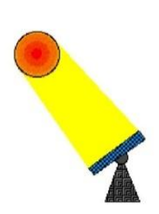
## منظومات تتبع الشمس : **Sun Tracking**

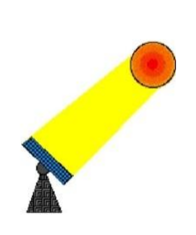
- بالنسبة لألواح الطاقة الشمسية الثابتة فيتم حساب زوايا ميولها على المستوى الأفقي والرأسى

أما ألواح الطاقة الشمسية المتحركة كما فى شكلى (٣)و(٤) ، فيتم توجيها بواسطة جهاز يسمى **(Sun Tracker )** أى المتتبع الشمسى، ويتم برمجة حركـة الجهاز حسب الموقع من خطوط الطول والعرض وحركة الشمس طوال العام.

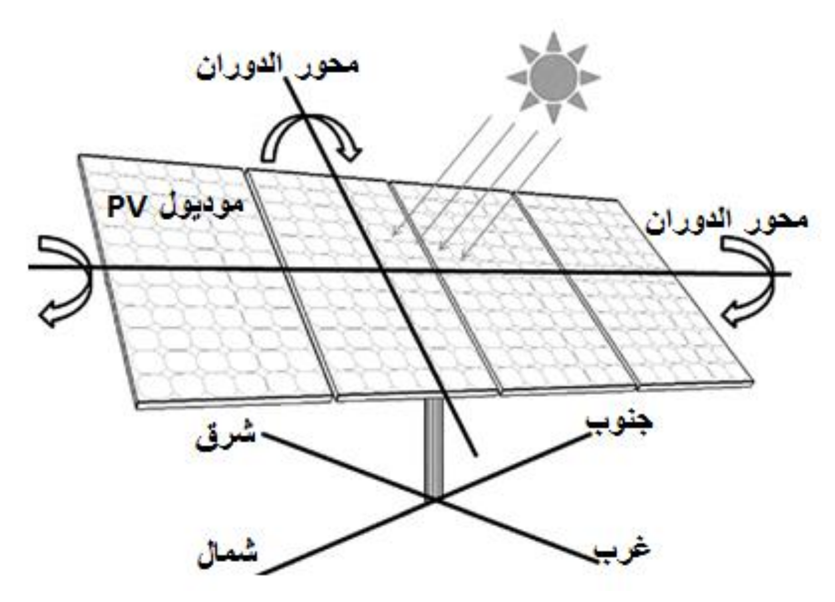
يتم تتبع الشمس طوال فترة النهار لضمان زاوية عمودية بين أشعة الشمس والخلايا الفوتوفلتية ،حيث يبدأ الجهاز بالعمل مع شروق الشمس ويدور باتجاه الشمس وملحق به تأخير زمنى محدد ، وفى الليل يتوقف عن الحركة بأنتظار شروق الشمس من جديد .

- وهذه المنظومات تزيد من مقدار الطاقة المحصلة من الشمس عن الأنظمة الثابتة بنسبة **33%** .



**شكل (٣) منظومات تتبع الشمس** Sun Tracking

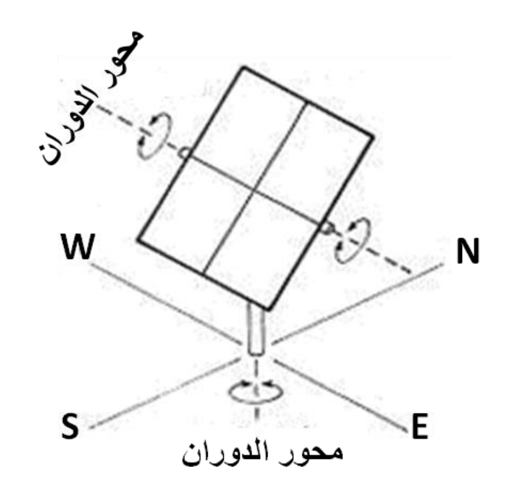


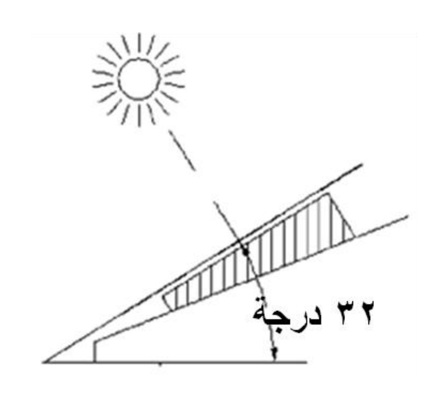

**شكل (٤) تمثيل منظومة تتبع الشمس**

في حال اختيار ألواح (موديولات) طاقة شمسية تشمل على امكانية تعديل زاوية ميلها بكل فصل من فصول السنه للحصول على أكبر كمية من الاشعاع الشمسي. أو يمكن تركيب جهاز لملاحقة الاشعاع الأقصى للشمس حيث يقوم بمتابعة الأشعة المباشرة طوال العام هذا الأمر يزيد من كمية الكهرباء المنتجة بصورة ملحوظة لكن لابد من الأخذ بعين الاعتبار أن هذه الزيادة في الكفاءة تزيد من تكلفة النظام أيضا، لذا لابد من دراسة الجدوى الإقتصادية لهذا النظام.

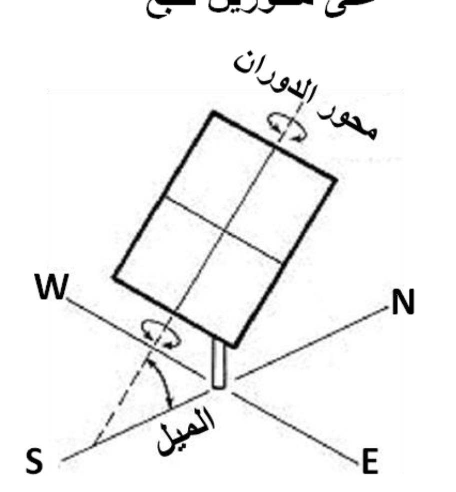
وجد بالدراسات المناخية والجغرافية أن أى منظومة شمسية ( خلايا فوتوفولتية) توجه ناحية خط الاستواء و زاوية ميل على المستوى الأفقي تساوى تقريبا زاوية خط العرض الواقع به الموقع .

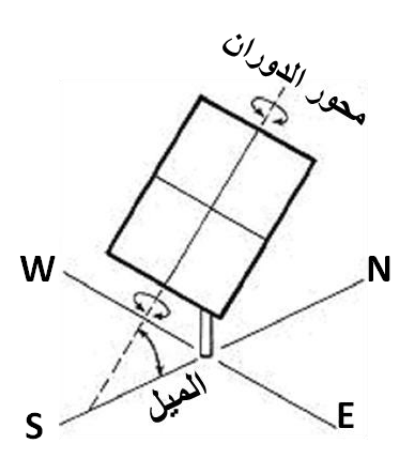
يوضح شكل (٥) أمثلة لزوايا ميول وحدات الخلايا الشمسية على المستوين الأفقى والرأسى.



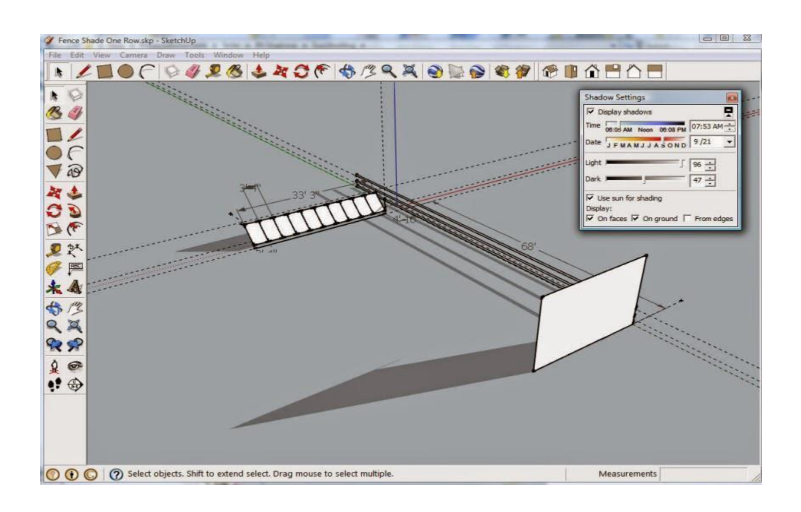

مجمع سطحى يحتوى
على محورين تتبع



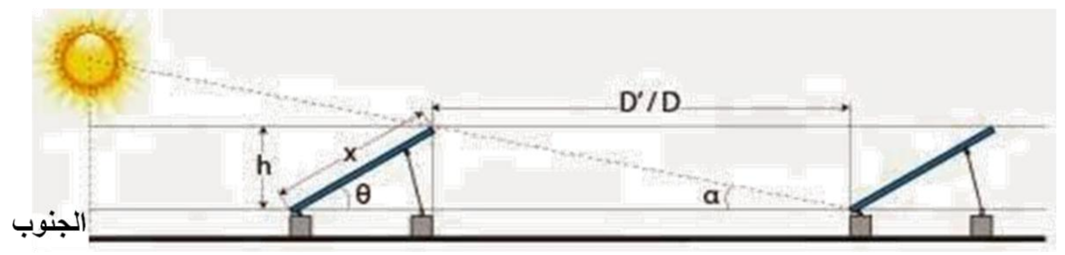

مجمع سطحى يحتوى على محور تتبع واحد
ومحور يتجة شمال / جنوب

شكل (٥) أشكال توضح زوايا ميول وحدات الخلايا الشمسية على المستوين الأفقى والرأسى




شكل (٦) تمثيل ظل الألواح الشمسية

عند تصميم المحطات الشمسية الفولتوضوئية لانتاج الكهرباء يعتبر الظل هو العدو الأكبر، ففي أي بلد عربي نتوقع علي الأقل **6** ساعات عمل كاملة في اليوم للنظام الشمسى . لو وقع الظل علي أحد أركان لوح شمسي قد يؤدى ذلك لعدم الحصول على طاقته كاملة أو نصف طاقته. لذلك يجب حساب المسافة بين الألواح بدقة حتي نضمن أنه في أسوأ الظروف لن يغطي ظل الألواح علي بعضها البعض ، لاحظ شكل (٧) ، لشرح طريقة حساب المسافة بين صفوف الألواح الشمسية يجب أن تتم اجراءات الحسابات اعتمادا علي أسوأ الأوقات في السنة وهى المقابلة لحالة أكبر مسافة ظل قد يلقيها اللوح الشمسي خلفه والتى تحدث في الشتاء وتحديدا في يوم **21** ديسمبر حيث تكون زاوية ميل الشمس بأقل قيمة لها وهذه الزاوية هي الموضحة بشكل (٧) ويرمز لها بالرمز ألفا **(α) (minimum solar altitude angle)**

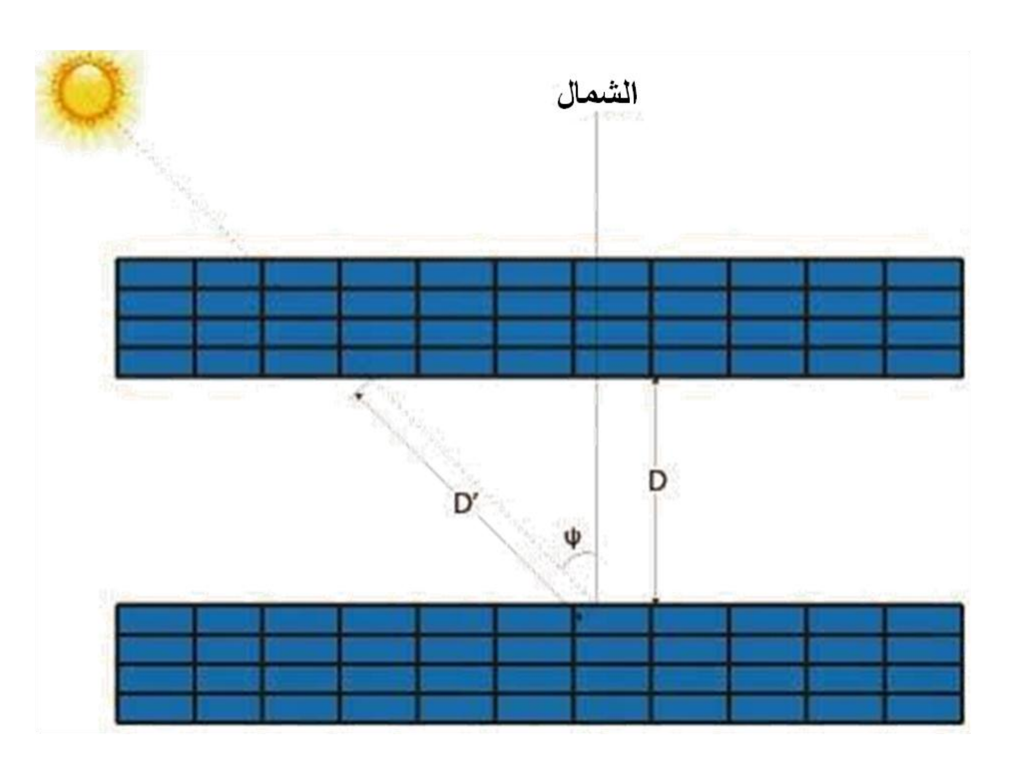



شكل (٧) تمثيل زاوية ميل الشمس

ولأن الظل ليس في اتجاه واحد فقط لأنه يعتمد علي اتجاه آخر وهو زاوية ميل الشمس

ناحية الشرق أو الغرب سواء في بداية النهار أو آخره لذلك يؤخذ هذا في الاعتبار، فمثلا لو كان من المتوقع للنظام الشمسى أن يعمل **6** ساعات يوميا بطاقته الكاملة فذلك يعني أنه سيعمل ثلاثة ساعات قبل ساعة الذروة ( الظهيرة ) وثلاثة ساعات بعد ساعة الذروة .

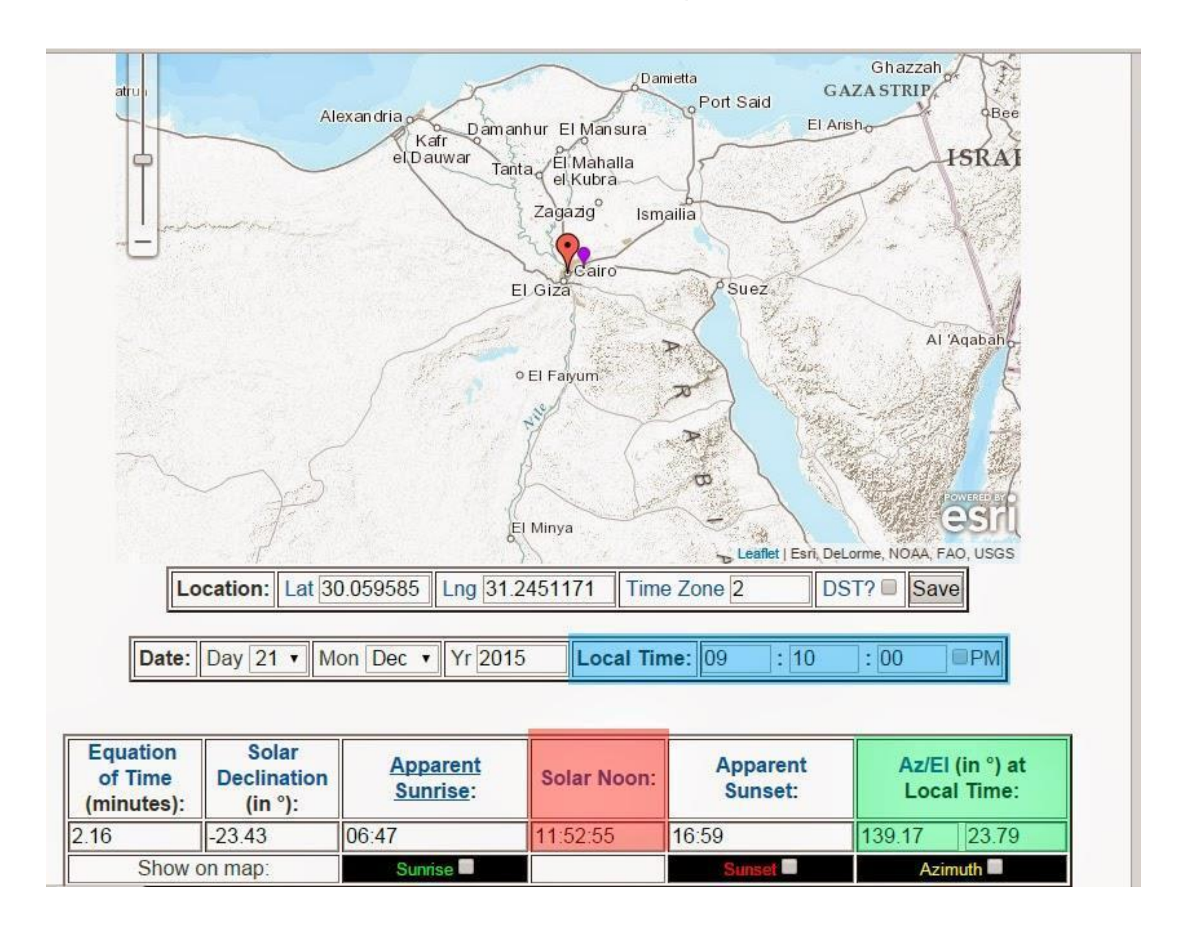
ومثال ذلك لو فرض أن ساعة الذروة هي الثانية عشرة ظهرا عندئذ تحسب زاوية ميل الشمس في الساعة التاسعة صباحا أو الثالثة عصرا وستكون زاوية الميل متطابقة في الحالتين ويمكن الحساب علي أي حالة .
يوضح شكل (٨) زاوية **ψ ( suns azimuth angle)** والتى يرمز لها بالرمز زيتا السمت




**شكل (٨) زاوية السمت " زيتا "**

وعلي ذلك يتضح أن الحسابات ستعتمد بشكل رئيسي علي هاتين الزاويتين ألفا و زيتا .
ولكن كيف تحصل علي هاتين الزاويتين بدقة ؟
في الحقيقة فان الحصول علي هاتين الزاويتين بدقة في يوم **21** ديسمبر تحديدا يعتبر أمرا

ليس سهلا ، ولكن توجد بعض البرامج علي الانترنت تسهل هذا الأمر كثيرا ولقد تم أختيار هذا البرنامج المتوفر من الموقع **NOAA** والموجودة في العنوان الالكترونى الآتى :
**http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/**
وسنحاول عرض كيفية استخدام البرنامج بشكل مبسط .




شكل (٩) شاشة البرنامج

شكل (٩) يوضح شاشة البرنامج التى ستظهر :

أولا : يتم سحب السهم الأحمر من علي الخريطة ووضعه في المدينة التي يراد اجراء حسابات فيها ليقوم البرنامج تلقائيا بحسابات الاحداثيات لها. ففي هذا المثال تجد أن السهم موجود في القاهرة تقريبا. ثم يحدد التاريخ علي يوم **21** ديسمبر كما هو

واضح.

ثانيا : أول ما يجب ملاحظته هو القيمة الموجودة في المربع المحدد باللون الأحمر وهو يعبر عن ساعة الظهيرة أو ساعة الذروة وفي هذه الحالة كما هو واضح هي الساعة **11:52**

ثالثا : لو كان المطلوب أن تعمل ألواح الطاقة الشمسية لفترة **6** ساعات يوميا بطاقتها القصوي وهو غالبا ما سيتم اجراء الحسابات علية عندئذ يجب طرح نصف هذه القيمة أي **3** ساعات من ساعة الذروة الظاهرة أو ساعة الظهيرة في هذه الحالة مثلا ستكون الساعة التي سيحسب عليها هي الساعة **9:10** تقريبا .

رابعا : اكتب هذه القيمة وهي **9:10** في هذا المثال في المربع المحدد باللون الأزرق .

خامسا : وأخيرا ستظهر قيمتين في المربع المحدد باللون الأخضر هاتين القيمتين هما ما نريده تحديدا

فإن القيمة الصغيرة وهي **23.79** هي الزاوية ألفا **α minimum solar altitude angle)** والقيمة الكبيرة وهي **139.17** هي الزاوية زيتا **ψ suns azimuth angle)**
بعد ذلك يتم اجراء الحسابات بالمعادلات وطبقا للشكلين (٦) & (٧) :

أولا : يتم حساب القيمة **h** وهي ارتفاع اللوح

$$h = x * \sin(\theta) \text{ for tilted solar arrays}$$

القيمة **x** هي عرض اللوح والزاوية ثيتا هي زاوية الميل والتى غالبا وفي معظم البلاد العربية تساوي قيمة زاوية خط العرض الواقع عليها المكان **+ 15** درجة.

ثانيا : يتم حساب **'D** وهي مسافة الظل المائلة

$$D' = {}^{h}/_{\tan(\alpha)}$$

و قيمة الزاوية ألفا تم الحصول عليها من قبل باستخدام البرنامج الذى تم عرضة .

ثالثا : يتم حساب المسافة بين الألواح وهو المطلوب

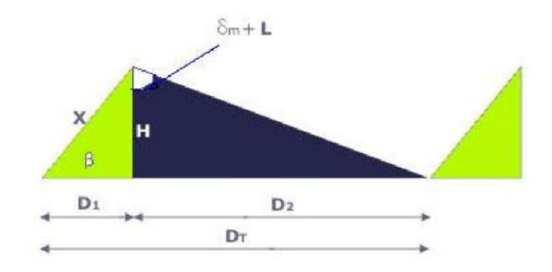
$$D = D' * \cos(180 - \psi)$$

وكذلك الزاوية زيتا تم الحصول عليها باستخدام البرنامج الذى تم عرضة من قبل .

وبذلك يكون قد تم حساب المسافة اللازم توافرها بين صفوف ألواح الطاقة الشمسية لتفادي سقوط ظلها علي بعضها البعض وذلك تحت أسوأ الظروف في السنة وبذلك نضمن كفاءتها طوال أيام وساعات السنة.

إن وضع أسطح الألواح الضوئية في أكثر من صف متوازي، يضمن قدرا كبيرا من المرونة في تحديد مواقع الألواح الشمسية، ولكن هذا له ميزات سلبية بالنسبة لصفوف الألواح الثانوية. من تحاليل خصائص مكونات الاشعاع الشمسي يمكن أن نرى أن ذلك الجزء من السماء الظاهر للصفوف الثانوية، هو محجوب جزئيا بسبب الصفوف الأمامية، وهذا يعني أن الألواح الضوئية تتلقى جزءا ضئيلا من الاشعاع المنتشر ولا شيء من الاشعاع المنعكس. بتقييم أداء الألواح الضوئية من خلال دراسة منهجية للظل التي يسمح بايجاد مواقع سليمة للصفوف وتجنب حجب بعضها البعض.

في شكل (١٠) تم تمثيل الظل الناتج من سطح طولة **X** وميلة $\beta$ يكون كالاتى :




$$D1 = x \cos\beta$$

$$H = x \sin\beta$$

$$D2 = H \tan(\delta m + L)$$

$$Dt = D1 + D2 \quad (\delta m = 23{,}5°)$$

شكل (١٠) تمثيل ميل الشمس فى الانقلاب الشتوى

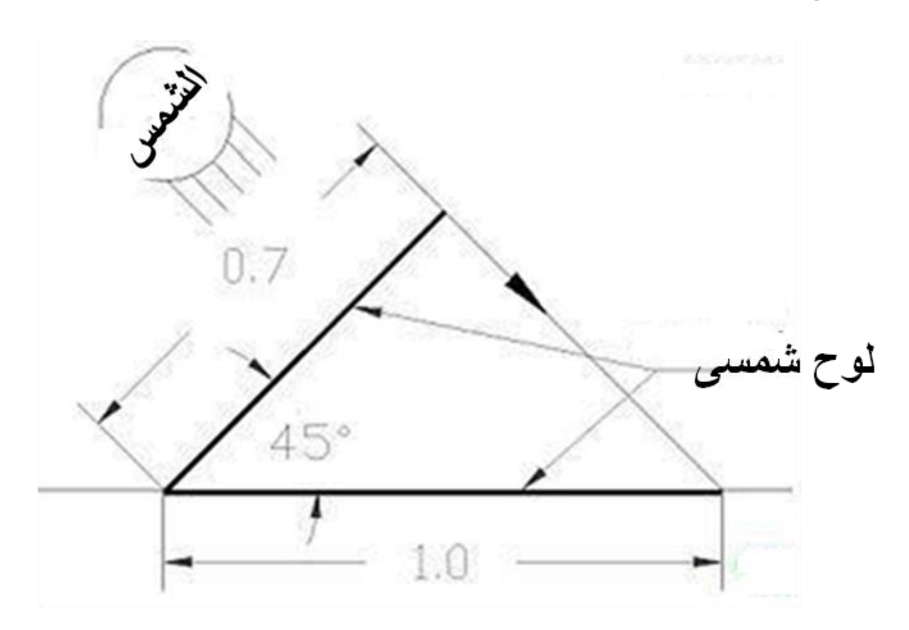
هذا يشير إلى ميل الشمس في الانقلاب الشتوي، يكون عموديا على مدارالجدي وتكون في الحد الأدنى من الارتفاع في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

لتحقيق أقصى قدر ممكن من المساحة التي تشغلها الألواح الضوئية وخفض الطاقة الضائعة الناجمة عن الميل، يجب علينا تحديد الحد الأدنى للمسافة بين الصفوف المتوازية ابتدأ من اعتبار أن الظل **=** صفر في الساعة **12** من يوم الانقلاب الشتوي. من

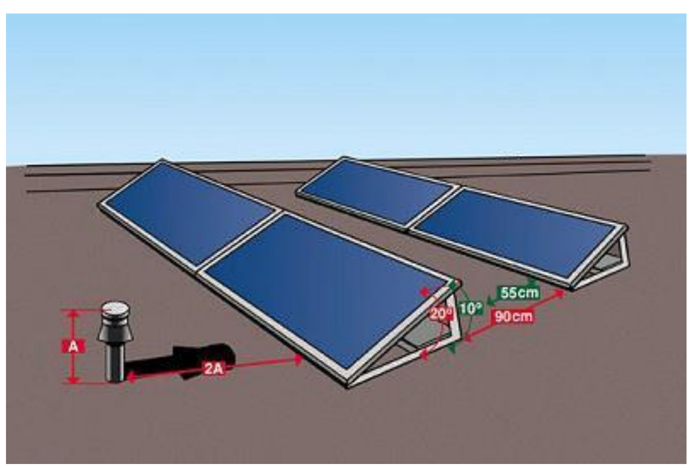
حيث المبدأ، المسافة المستخدمة = **3H**

ولكسب أشعة الشمس وليس تجنبها، فإن الألواح الشمسية لانتاج الكهرباء يجب أن تتوجه للجنوب. وعلى ذلك، يجب أن يكون ميلهم بزاوية حوالي **45** درجة مئوية، للتأكد أن أشعة الشمس يمكن أن تصل إليها بشكل عمودي. وبهذه الطريقة تتعرض الألواح إلى أعلى كمية من أشعة الشمس. مثلا فى شكل (١١) إذا كانت الشمس على ميل حوالى **45** درجة، لوح طوله **0.7** متر، عمودي على أشعة الشمس، يكتسب نفس القدر من الضوء للوح طولة **1** متر، وضع على مستوى أفقي. نفس ما يحدث لكوكب الأرض. أشعة شمس الصيف، تأتى بزاوية مائلة كثيرا بالنسبة للأفق،ُتسخن التربة أكثر بكثير من الأشعة في فصل الشتاء، التي تصدم التربة بزاوية صغيرة.

وبالرغم من أن طول اليوم هو عامل هام في تفسير لماذا الصيف حار والشتاء بارد،فان زاوية تقاطع الاشعاع الشمسي هي أكثر أهمية. في القطب الشمالي ،مثلا، حتى لو أن الشمس تسطع لمدة **24** ساعة في اليوم، الحرارة الناتجة هي منخفضة للغاية، لأن زاوية تقاطع أشعة الشمس صغيرة جدا.




شكل (١١) مثال لوح شمسى بميل ٤٥ درجة



شكل (١٢) القاعدة العامة للمسافة بين الألواح الشمسية

طبقا لقاعدة التجربة والاختبار( a rule of thumb) فإن المسافة بين الصفوف تكون تقريبا ضعف ارتفاع الخلايا

# الباب الخامس عشر

# صيانة الأنظمة الفوتوفلتية

# Maintenance of photovoltaic systems

اجراءات صيانة الأنظمة الفوتوفلتية

- كيف تتم صيانة الخلايا الشمسية ؟

تحتاج الخلايا الشمسية للقليل جدا من أعمال الصيانة . لزيادة كمية الضوء اللازم والساقط على اللوحات الشمسية يلزم نظافة سطح الخلايا دوريا . وعلى ذلك يجب نظافة واجهة الخلايا بقطعة قماش ومياه عادية . مع مراعاة عدم استخدم مواد كميائية . علاوة على ذلك ، من الأهمية عمل فحص دورى لعدم نمو الأشجار فى مواجهة الخلايا حتى لاتسقط عليها ظلال .





- كيف تتم صيانة البطارية ؟

تحتاج أغلب البطاريات الى أعمال صيانة . داخل البطارية يوجد سائل ، مستوى هذا السائل هام جدا لوظيفة البطارية . ولذا يجب فحص دورى لمستوى السائل وعليه يجب ملء البطارية بالسائل عند الضرورة . لعمل ذلك يجب استخدام مياه مقطرة فقط ولاتستخدم مياه عادية أو حمضية حتى لاتسبب فسادا للمواد الكميائية داخل البطارية . ومن الأهمية الحفاظ على نظافة البطارية لمنع حدوث تفريغ شحنة التيار المار بالأطراف أعلى البطارية .

- الصيانة الدورية

١. اسأل المستخدم عن حالة تشغيل نظام الفوتوفلتية لمعرفة هل توجد أية مشاكل . المستخدم هو أكثر ألفة مع كيفية العمل الجيد للنظام . عند بداية حدوث مشاكل للمحطة الشمسية ، سيلاحظ المستخدم حدوث تغيير فى طريقة تشغيلها .عند ملاحظة المستخدم حدوث تغيير يكون الوقت مناسب للفحص بعناية للنظام . اذا لم تجد أى خطأ ، فسجِل كتابيا ملاحظات المستخدم .

٢- افحص كل مكون فى نظام الفوتوفلتية من حيث التشغيل السليم ، والتنظيف والرباطات الجيدة . فى حالة وجود مشاكل فى أى مكون للنظام سيؤدى ذلك لعمل النظام بالكامل بطريقة سيئة. من الناحية العملية، فإن مشاكل التوصيلات والخلايا وجهاز التحكم يمكن أن يؤدى الى انهيار البطارية وتقليل عمر تشغيلها بدرجة كبيرة.

دائما ما تسبب عدم النظافة وحدوث الصدأ، فى مشاكل للمعدات الكهربائية . بالاضافة الى مشاكل نتيجة الرباطات غير الجيدة أو المتآكلة . يجب فحص كل جزء عند كل زيارة لصيانة الموقع .

٣- اصلح أو استبدل المكونات ذات الحالة الرديئة . اذا كان المكون لايعمل جيدا فيجب اصلاحه او استبداله فورا بآخر جيد .بمعنى آخر ، لن يعمل النظام جيدا فى وجود مكونات منهارة خاصة البطارية (غالية الثمن).

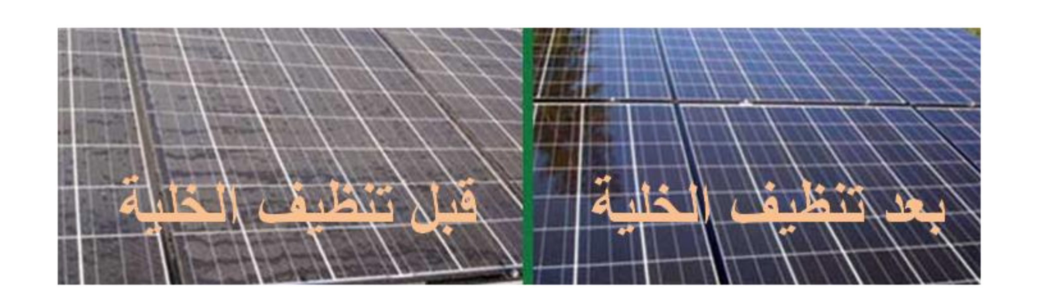
٤- تأكد من أن النظام لم يحدث به أية تغييرات سواء بالتوصيلات أو المكونات بدون الحصول على تصريح ، حيث من الممكن أن يضيف المستخدم أجهزة كهربائية أكثر محملة على نظام الفوتوفلتية ، وحيث أن النظام مصمم بعناية بمجموعة أساسية من الأجهزة ، فإن

اضافة أية أجهزة جديدة ، تحمل على النظام ، سيؤدى الى مشاكل وتقلل عمر تشغيل البطارية .

عند الاحتياج لاضافة أجهزة أكثر ، فيجب اضافة خلايا شمسية كافية وبطارية أكبر مناسبة وتشغيلهم فى نفس وقت اضافة الأجهزة الجديدة وإلا سوف ينهار النظام .

٥- سجل أية اجراءات تتم خلال زيارة الصيانة

غالبا ما تظهر مشاكل النظم الفوتوفلتية ببطىء . اذا تم الاحتفاظ بسجلات دقيقة ، فإن ذلك يسهل الاصلاحات اللازمة بسهولة عند الاحتياج ، وأيضا تسجيل أنشطة الصيانة، حيث تستخدم هذه السجلات اذا لم تعمل المكونات بالطريقة المفروضة وعند الاختيار الجيد للمكونات مستقبلا .




أساسيات الصيانة

من المفيد ، أن تتم الصيانة على أساس دورى . ومن الأفضل فحص البطاريات شهريا ، كذلك يتم الفحص الشامل لجميع المكونات على الأقل مرة كل ستة أشهر .

- الخلايا ( الموديولات )

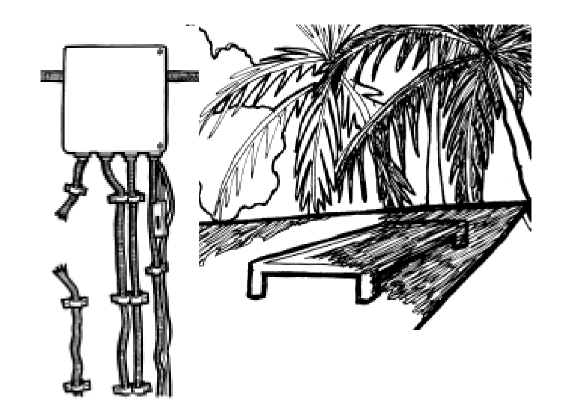
١- افحص تثبيت الخلايا ، للتأكد من أنها قوية ومربوطة جيدا ، إن وجد كسر أو رباط غير جيد ، يجب الاصلاح .

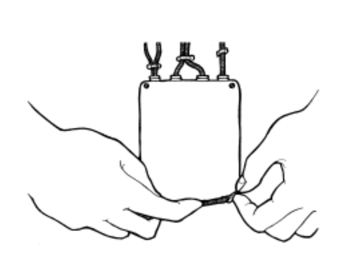
٢- تحقق من عدم وجود كسر أو شرخ بالزجاج . اذا كان الزجاج مكسور ، يتم استبدال الخلية المكسورة

٣- افحص صندوق التوصيلات للتأكد من رباط الاسلاك وأن مانع تسرب المياه سليم .
٤- تحقق اذا ما كان هناك ظلال بسبب مبانى جديدة أنشأت أو وجود أشجار . إن وجدت فيجب منع الظلال أو تغيير موضع الخلايا حتى لاتتعرض للظلال.
٥- تحت إضاءة لا تقل عن ١٠٠٠ لكس ( طبقا للمواصفات القياسية العالمية IEC 61215 ) يتم التحقق من عدم وجود :
- تصدع – إنحناء – عيوب أو أنهيار فى التوصيلات – تلامس الخلايا مع بعضها أو مع الاطار .
- فقاعات أو تشققات تسبب مسار مستمر بين الخلية ( أو الخلايا ) وحافة الموديول
- اسطح بلاستيكية لزجة .

- الأسلاك والتوصيلات

١- افحص غلاف الأسلاك ( العزل) من حيث وجود كسر أوتشققات . إن وجدت أى أعطال بالعازل فيجب استبدال الاسلاك فورا، خصوصا اذا كانت الأسلاك مركبة خارج المبنى ، فيجب استخدام أسلاك ذات عزل مقاوم للطقس . افحص دوريا الخلية من حيث النظافة ، إحكام التوصيلات ، والتثبيت الآمن .
٢- تحقق من وسيلة تعليق الأسلاك بالمبنى للتأكد من أن الرباطات جيدة ولايوجد احتكاك مع حواف حادة عندما تهب الرياح .
٣- اذا تم تغيير التوصيلات ، عندئذ يتم التحقق من : المقاس السليم للأسلاك أو للكابلات،مع مناسبة العزل الخارجى للأسلاك ، كما يجب عمل الرباطات المناسبة وبإحكام فى الأماكن الجديدة .
٤- اذا تمت اضافة أية أسلاك زيادة مع نظام الفوتوفلتية بغرض تشغيل أجهزة إضافية ، انصح المالك بخطورة ذلك على النظام حيث أن الاعتمادية ستنخفض .انصحه كذلك بزيادة الخلايا الشمسية وزيادة سعة البطارية لتتحمل الحمل الزائد.
٥- تحقق من عدم وجود صدأ عند الرباطات وانها محكمة الربط.





كذلك يجب التأكد من :

- الرباطات الجديدة لوحدات التحكم والتثبيت الآمن . التأكد من النظافة وعدم وجود حشرات
- إن أهم مهام الصيانة تنظيف جميع المكونات ، لأن أنظمة الفوتوفلتية تعمل أفضل وبعمر أطول كلما حافظنا على نظافتها .

- <u>التحكمات</u>

١- التأكد من وسيلة تثبيت جهاز التحكم . فاذا لم يكن التثبيت جيدا، أعد ذلك بطريقة جيدة.
٢- حافظ على نظافة جهاز التحكم .

- <u>الأجهزة</u>

١- قم بتشغيل كل جهاز وتأكد من أنه يعمل بشكل صحيح
٢- تأكد من أن الأجهزة محكمة التركيب .
٣- نظف جميع الأجزاء المكشوفة من كل جهاز ، نظف اللمبات والأغطية البلاستيكية

- <u>صيانة البطاريات</u>

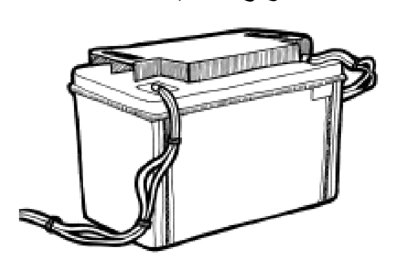
١- تحقق من أن التوصيلات جيدة ولايوجد صدأ . نظف وأعد الرباطات جيدا عند الحاجة .
غطى نقط التوصيل بشحم كثيف ، ولاتضع الشحم على أى أجزاء

بالبطارية إلا أطراف التوصيل

٢- نظف البطاريات بالمياة العذبة وقطعة من القماش النظيف.

- <u>فحص بطاريات الخلايا المكشوفة</u>

١- نظف أعلى البطارية ، تأكد من أن التوصيلات جيدة ولايوجد صدأ . نظف واربط جيدا عند الحاجة .



٢- افحص كل خلية بطارية بإستخدام الهيدروميتر وسجل القراءات . اذا احتاج الفحص الى رفع الغطاء ، فلا ترفع الأغطية جميعها فى نفس الوقت حتى لاتتعرض الخلايا للمخاطر نتيجة تعرضها للأتربة والأوساخ

٣- فى حالة وجود انخفاض فى مستوى السائل داخل الخلية ، اضف مياه مقطرة حتى المستوى الصحيح . لاتضف حامض ، اضف فقط مياه . فى حالة عدم توافر مياه مقطرة ، استخدم بعناية مياه المطر المجمعة . تذكر أن أية أملاح أو معادن أو زيوت فى المياه ستؤدى الى افساد البطارية وتقليل عمر تشغيلها ، وعليه يجب الاعتناء تماما بتجميع وتخزين مياه البطاريات.

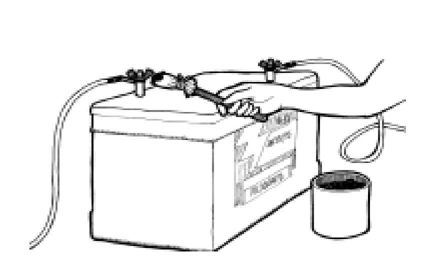
٤- عند وجود غطاء مكسور أو مفقود ، فيجب تغطية مكانه بقطعة زجاج أو بلاستيك حتى يتم توفير غطاء بديل وتركيبه . ولا تستخدم ورق أو فلين أو معدن أو قماش لتغطية هذه الفتحات . ولا تترك الفتحات أبدا بدون تغطية. احرص على عدم تثبيت الغطاء المؤقت بأحكام على الفتحة حتى يسمح بخروج الغازات منه

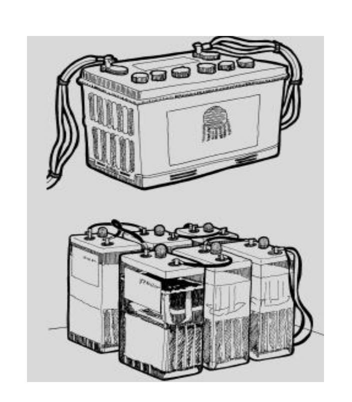
٥- نظف البطارية بالماء العذب وقطعة قماش نظيفة.

- حافظ على نظافة البطاريات، عدم نظافة أعلى البطارية يمكن أن يؤدى الى انهيار الخلايا عند تزويدها بالمياه . كما يمكن فقد طاقة البطاريات نتيجة مرور تيار صغير بين التوصيلات غير النظيفة .

- يجب قراءة الهيدروميتر للبطاريات فى كل زيارة . كل قراءة تسجل مع التاريخ والزمن . عند حدوث مشاكل بالبطاريات ، فإن الرجوع الى هذه التسجيلات تكون مفيدة جدا لتحديد وتصليح مصدر العطل .
- تسجيلات الصيانة يجب أن تتم وقت كل زيارة . ولاداعى لتأجيل تسجيل العمل فيما بعد . يجب عمل نسختيين من هذه التسجيلات ، احداهما مع المسئول عن الصيانة والأخرى تحفظ فى غلاف مقاوم للمياه فى موقع العمل .
- نظف مكونات النظام

من أحد أهم أنشطة الصيانة : نظافة البطارية وجهاز التحكم والأجهزة والخلايا.





صيانة خاصة عند استبدال بطارية

لاتستخدم بطاريات جديدة مرتفعة التكلفة مع نظام الفوتوفلتية فليس النوع المكلف هو الأكثر كفاءة عمل .

عند استبدال البطارية ، يجب التحقق من دقة عمل النظام بصورة عامة ، فك ونظف جميع التوصيلات ثم أعد توصيلها بشكل صحيح . افحص تشغيل كل الاجهزة والتحكم . عموما تأكد من أن النظام عاد الى الحالة الجيدة.

تسجيلات أعمال الصيانة

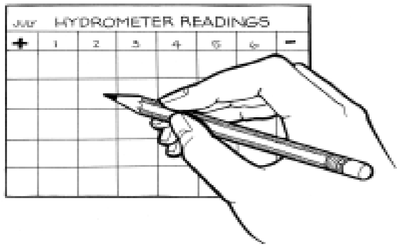
طالما يعمل نظام الفوتوفلتية بشكل جيد ، فإن تسجيل أعمال الصيانة لإستخدامها مستقبلا ، ولكن تصبح مهمة جدا عند حدوث بعض الأعطال . عند فحص تسجيلات الصيانة فإنه يمكن الوصول لحظيا للخطأ الحادث بالنظام . ويمكن ايضا معرفة تطور المشاكل بالبطاريات والأجهزة بالفحص الجيد لتسجيلات الصيانة .

تسجيلات الصيانة هى ايضا دليل على وجود رعاية جيدة للنظام .

تحفظ التسجيلات على بطاقة أو فى نوتة صغيرة توضع فى كل نظام فوتوفلتية وعند بداية الانشاءات يسجل الآتى: اسم الشركة المصنعة ، رقم الطراز ، الرقم المسلسل ، خصائص كل عنصر . يجب اضافة الرسم الخطى لشبكة توزيع الكهرباء موضحا عليه مقاس اسلاك وكابلات التوصيل المستخدمة .

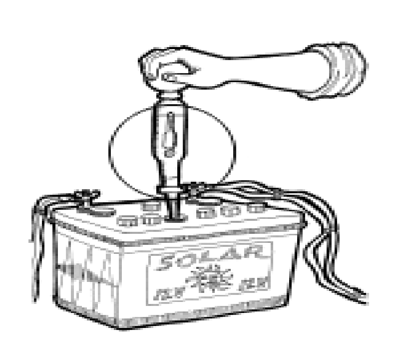
عند كل زيارة يجب تسجيل تاريخ الزيارة ووصف مختصر للمشكلة والعمل الذى تم . اذا كانت البطاريات من نوع الخلاياالمفتوحة . سجل قراءة الهيدروميتر (Hydrometer) لكل خلية وحدد أي الخلايا تحتاج للتزويد بالمياه . ويجب تسجيل أى اصلاح أو استبدال يحدث. اذاتم اضافة مكونات جديدة فيجب تسجيل بياناتها مثل : الصانع – الطراز – الرقم .

اذا تم أى تغيير فى الدائرة الكهربائية ، فيجب تسجيل التغيير على الرسم الخطى لشبكة توزيع الكهرباء.



- الهيدروميتر :

جهاز قياس يستخدم لتحديد حالة شحن البطاريات الرصاصية الحمضية بمعرفة الكثافة النوعية للسائل الالكتروليتى فيها.



# الباب السادس عشر

# تحليل التكاليف / الفوائد

# والتقييم الاقتصادى للأنظمة الفوتوفلتية

# Cost / benefit analysis & the economic assessment of photovoltaic systems

تحليل الفوائد – التكاليف :

بصورة عامة ، عند تقييم فوائد مشروع ، تحدد الوفورات وتجمع ، ثم يتم مقارنتها بإجمالى التكاليف المرتبطة بها على مدى عمر المشروع . ومن طرق المقارنة بين التكاليف والفوائد التالى :

*نسبة الفوائد إلى التكاليف (Benefit – cost ratio)

مقارنة بين إجمالى فوائد الخصومات فى استهلاك الكهرباء و مجموع التكاليف ، كنسبة، وهى مؤشر مقياس لحجم العائد على الإستثمار . ويتم ذلك من خلال التحقق من النسبة بين فوائد القيمة الحالية إلى تكاليف القيمة الحالية . إذا كانت نسبة الفوائد إلى التكاليف أكبر من واحد ، فإنه يمكن اعتبار هذا المشروع مجديا من الناحية الإقتصادية.

*القيمة الحالية الصافية (Net present value) (NPV)

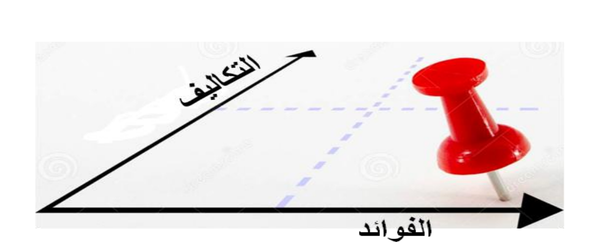
مقارنة القيمة الحالية للتكاليف المتوقعة للمشروع مع القيمة الحالية المقترنة بفوائد التدفقات . بدلا من نسبة الفوائد إلى التكاليف ، تطرح تكاليف الخصم الكلية من فوائد الخصم الكلية.

إذا كانت نتيجة القيمة الحالية الصافية (NPV) أكبر من الصفر ، عندئذ يكون المشروع قادرا على الاستمراراقتصاديا .

*<u>معدل العائد الداخلى</u> (Internal rate of return) (IRR)

عندما يحدث تساوى القيمة الحالية للفائدة الصافية (discount rate)يحدد معدل الخصم للتدفق مع القيمة الحالية للتكاليف الصافية للتدفق . إذا كانت نتيجة معدل العائد الداخلى (IRR) أكبر من معدل الخصم المختار عندئذ يكون المشروع مجديا اقتصاديا.






<u>كيف تؤثر التكاليف على نظام الفوتوفلتية :</u>

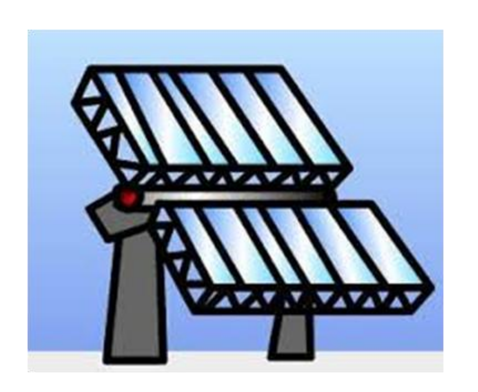
لاتوجد إجابة موحدة تنطبق على كل الحالات ولكن من المعلوم أنه لاتوجد تكاليف للاشعاع الشمسي الساقط بالاضافة إلى وجود حوافز أخرى دائما تؤدى إلى تخفيض التكاليف . وتعتمد التكاليف على عدد من العوامل . بما فى ذلك حالة المبنى،هل هو تحت الانشاء ؟، وما موقف تركيب الخلايا الفوتوفلتية؟ هل هى متكاملة مع السقف أو تركب على السطح القائم؟ . وتعتمد الأسعار أيضا على: القدرة ، الشركات المصنعة ، والقائمين بالتركيبات٠ ويكون حجم النظام هو أهم عامل لقياس أى تكاليف مقابل للفوائد .

تكلفة تركيب خلية فوتوفلتية صغيرة تحتوى على إنفرتر وتنتج ٧٥ وات تكون حوالى ٩٠٠ دولار ، او ١٢ دولار لكل وات . هذه الخلية الصغيرة تساهم فقط فى جزء بسيط من فاتورة استهلاك الكهرباء.

وتكون تكلفة إنشاء نظام فوتوفلتية ٢ ك٠و والذى يتناسب تقريبا مع كل احتياجات منزل يتصف بكفاءة الطاقة (efficient home)، بين ١٦٠٠٠ & ٢٠٠٠٠ دولار أو من ٨ إلى ١٠ دولار لكل وات . فى النهاية ، وتكون تكلفة إنشاء نظام فوتوفلتية ٥ ك٠و والذى يتناسب بالكامل مع كل احتياجات منزل يتصف بكفاءة الطاقة بين ٣٠٠٠٠&٤٠٠٠٠ دولار ،أو من ٦ إلى ٨ دولار لكل وات ، هذه الأسعار هى تقديرات تقريبية تعتمد على هيئة النظام ،واختيار المعدات ، بالإضافة إلى عوامل أخرى . مع التحسين فى التكنولوجيا

وارتفاع مستويات التصنيع . فيمكن أن تنخفض تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية بدرجة كبيرة على مدى الزمن.على الرغم من ارتفاع التكاليف الأولية للأنظمة الفوتوفلتية ، إلا أن تكاليف التشغيل والصيانة منخفضة جدا.

بالإضافة إلى ذلك ، ففى الأنظمة الفوتوفلتية المستقلة لكل منزل ، يتم تفادى التكلفة العالية لإنشاء خطوط النقل الكهربى.



تزيد تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية طرديا مع حجم الموديول والبطاريات. وتكون تكاليف الموديول ، وهو المكون الأهم بالنظام ، حوالى من ٥٠-٦٠% من التكاليف الكلية للنظام، على الرغم من أن تكلفة رأس المال الأولية للبطاريات غير جوهرية ، وأنه يتم استبدالها كل ٥-١٠ سنوات ، فإن هذا يرفع التكاليف الكلية لدورة الحياة المرتبطة بعمل الأنظمة الفوتوفلتية.

وتختلف تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية إختلافا كبيرا من دولة إلى أخرى ، طبقا لجدول رقم (١) ، نتيجة عوامل مثل : حجم المبيعات ، هامش الوكيل المعتمد ، استحقاقات الصناعة المحلية والتسويق ، الضرائب والجمارك.، مستوى المنافسة ...........فمثلا فى إندونسيا والصين توجد بعض الأنظمة منخفضة التكاليف وهذا راجع الى إنخفاض الضرائب والجمارك ، وحجم مبيعات عالى ، مع إنخفاض تكاليف التصنيع ( البنك الدولى ٢٠٠٦).

جدول (١) مقارنة تكاليف النظام الشمسى لبعض الدول (الوحدة : دولار )

| قدرة الخلية $W_P$ | الصين | فلبيين | اندونسيا | سرلانكا | الهند | كينيا | زمبابواى | متوسط التكلفة $\$/W_p$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 85 | | | | | | | 8.5 |
| 15 | 120 | | | | | | | 8.0 |
| 20 | 150 | 300 | | 302 | | | 300 | 13.2 |
| 30 | 203 | | | | | | | 6.3 |
| 40 | | 520 | 303 | 419 | 307 | | | 9.7 |
| 50 | | 660 | 300-408 | 480 | 360 | 822 | | 11.3 |
| 75 | 640 | 750-1000 | | 686 | | | | 11.5 |

تختلف التكاليف طبقا لاختلاف المناطق من حيث الطاقة الشمسية المنتجة سنويا من نظام $1KW_p$ فمثلا :

*تكون الطاقة الشمسية ١٨٠٠ ك.و.س/السنة فى جنوب كاليفورنيا

*تكون الطاقة الشمسية ٨٥٠ ك.و.س/السنة فى شمال ألمانيا

*وتكون الطاقة الشمسية ١٦٠٠- ٢٠٠٠ ك.و.س/ السنة فى الهند وأستراليا

يوضح جدول (٢) الطاقة الشمسية المستخدمة فى ٣ منازل بمناطق مختلفة بأمريكا ، مثلا فى منزل رقم (٢) التكاليف حوالى ١٦٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ دولار والتى تحقق حوالى ٢٥% من الطاقة التى تحتاجها هذه المنازل .

جدول (٢) أمثلة للطاقة الشمسية المنتجة فى مناطق مختلفة بأمريكا

| منزل (١) | ٧٠٠٠ ك.و.س/السنة | ١٩ ك.و.س /اليوم |
|---|---|---|
| منزل (٢) | ٨٤٨٥ ك.و.س/السنة | ٢٣ ك.و.س /اليوم |
| منزل (٣) | ١١١٢٧ ك.و.س/ السنة | ٣٠ ك.و.س/ اليوم |

التكاليف :

- تعتمد دقة حساب تكاليف الطاقة الكهربائية الشمسية على الموقع وتكلفة التمويل المتاح من صاحب إنشاءات المحطة الشمسية.
- أفضل أسعار الكهرباء للأنظمة الفوتوفلتية ( فى المواقع الأكثر شمسا ) تكون قريبة من ٣٠ سنت / ك.و.س وأعلى تعريفة حاليا تتعدى ٢٠ سنت/ك.و.س.
- إنخفضت أسعار الموديولات الشمسية (قدرة أكبر من ٧٠ وات ) بسعر حوالى ($27 /W_P$ $) فى ١٩٨٢ إلى حوالى ( $4/ W_P$ $ )
- تغلبت برامج التمويل لسد هذه الفجوة ، مما أدى إلى النمو السريع فى مبيعات الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، لاسيما فى اليابان وألمانيا.

مكونات تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية:

تتكون التكاليف من عنصريين أساسيين هما :

- تكاليف رأس المال
- تكاليف التشغيل

ويصنف كل عنصر إلي :

- تكاليف مباشرة ، تكاليف ثابتة
- تكاليف غير مباشرة ، تكاليف متغيرة

يوضح شكل (١) مكونات تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية

<table dir="rtl">
<tr><td></td><td>التكاليف المباشرة</td><td>التكاليف غير المباشرة</td></tr>
<tr><td>تكاليف رأس المال</td><td>التكاليف المرتطة بشراء المعدات:<br>• موديولات فوتوفلتية<br>• العاكس<br>• باقي مكونات النظام مثل وسائل التثبيت والتوصيلات و ....<br>• تكاليف الانشاءات</td><td>التكايف المبنية علي أساس أسعار نظام الفوتوفلتية :<br>• تكاليف السماح<br>• الخدمات اللوجستية<br>• الأعمال الهندسية<br>• تكاليف عامة</td></tr>
<tr><td>تكاليف التشغيل</td><td>تكاليف التشغيل التي لا تتغير طبقا لحجم النظام:<br>• مراجعات الصيانة الوقائية<br>• التكاليف الإدارية<br>• أخري.....</td><td>تكاليف التشغيل التي تتغير طبقا لحجم النظام:<br>• تأجير الاراضي<br>• إستبدال العاكس<br>• أخري.....</td></tr>
<tr><td></td><td>تكاليف ثابتة</td><td>تكاليف متغيرة</td></tr>
</table>

شكل (١) مكونات تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية

تعريفات

- اللوجستية : ( Logistics ) أو ما يعرف بـ فَنُّ السَّوْقِيَّات، هو فن وعلم إدارة تدفق البضائع والطاقة والمعلومات والموارد الأخرى كالمنتجات والخدمات وحتى البشرية من منطقة الإنتاج إلى منطقة الإستهلاك.
- الصيانة الوقائية (Preventive maintenance)

تعتبر الصيانة الوقائية ركيزة من الركائز الأساسية للصيانة الإنتاجية الشاملة

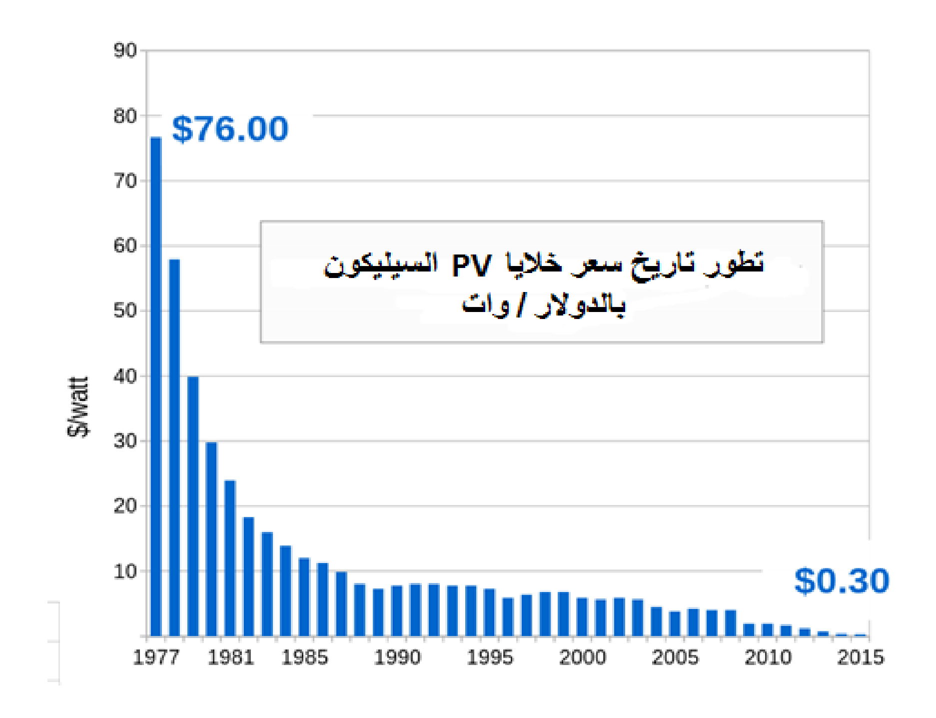
وتشمل الصيانة الوقائية مجموعة الأنشطة والإجراءات التي تقوم بها إدارة الصيانة للحفاظ على المعدَّات في ظروف تشغيل جيدة، ومحاولة تجنب الأعطال والخلل المفاجئ، من خلال معالجة أي قصور إن وجد قبل وصوله إلى حالة التعطل او الإخفاق .

فيما يلى مثال لتطور تكلفة 1Wp ( or 1 KWp ) في ألمانيا :

- إنخفض السعر بين عام ١٩٩٩ ، ٢٠١٠ بنسبة ٦٦%
- إنخفض السعر بين عام ٢٠١١ ، ٢٠١٢ بنسبة ٢٤%
- السعر في عام ٢٠١١ كان 2000 euro/ $KW_p$
- إنخفض السعر في عام ٢٠١٢ إلى اقل من 1600 euro/ $KW_p$

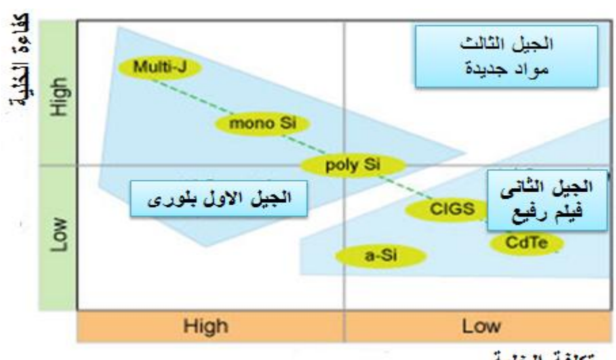
إنخفض السعر من 76$ / Wp في عام ١٩٧٧ إلى 0.3 $ / Wp في عام ٢٠١٥ كما فى شكل (٢)

يوضح شكل (٣) العلاقة بين تكلفة الخلية الفوتوفلتية والكفاءة ، ويلاحظ أن أعلى كفاءة يصاحبها أعلى تكلفة وهى للمادة متعددة الوصلات (multi-junction material )، وهذا الشكل لتكاليف وكفاءة الخلية فقط وليست للنظام ككل .




(Bloomberg New Energy Finance & PV energytrend.com)

شكل (٢) تطور تاريخ سعر خلايا فوتوفلتية سيليكون




**Multi-J : multi-junction material**
**Mono Si :mono crystalline silicon**
**Poly Si : poly crystalline silicon**
**CIGS :copper indium gallium selenide**
**A- Si :amorphous Silicon**
**CdTe :Cadmium telluride**

شكل (٣) مصفوفة العلاقة بين تكلفة الخلية الفوتوفلتية والكفاءة

فيما يلي بعض الجداول الإسترشادية المحتوية على نسبة تكلفة مكونات المحطة الفوتوفلتية .

يوضح جدول (٣) نسبة تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية المتصلة بالشبكة الكهربائية (ألمانيا – ٢٠١١) .

ويوضح جدول (٤) مقارنة بين تكاليف مكونات الأنظمة الفوتوفلتية عامي ٢٠١٠ &٢٠١٦.

ويوضح جدول (٥) نسبة تكاليف مكونات وأعمال وتراخيص محطة فوتوفلتية.

ويبين جدول (٦) مقارنة بين حدود نسبة تكلفة مكونات المحطة الفوتوفلتية السكنية (جنوب أفريقيا) .

توضح الجداول (٧) & (٨) & (٩) أمثلة لتكاليف الإنشاءات ومكونات أنظمة الفوتوفلتية .

جدول (٣) تكاليف الأنظمة الفوتوفلتية المتصلة بالشبكة الكهربائية (ألمانيا – ٢٠١١)

| المكون | نسبة التكلفة % |
|---|---|
| نظام التركيب والإنشاءات وأخرى (Mounding System , Installation , Other) | 34.3% |
| الموديول (module) | 20.9% |
| رقائق (wafer) | 13.0% |
| الخلايا (cells) | 11.4% |
| السيليكون (silicon) | 11.4% |
| العاكس (inverter) | 9.1% |

جدول (٤) مقارنة بين تكاليف مكونات الأنظمة الفوتوفلتية عامي ٢٠١٠ &٢٠١٦

| المكون | عام 2010 ($/W) | عام 2016 ($/W) |
|---|---|---|
| الموديول (module) | 1.7 | 1.05 |
| الأجهزة الإلكترونية (power electronics) | 0.22 | 0.18 |
| باقي النظام والإنشاءات (BoS/ installation) | 1.148 | 0.97 |
| الإجمالي | 3.4 | 2.2 |

(U.S. Department of Energy)

جدول (٥) نسبة تكاليف مكونات وأعمال وتراخيص محطة فوتوفلتية.

| المكون | نسبة التكلفة |
|---|---|
| الخلايا الشمسية (Solar Panels) | 30% |
| باقي النظام (BoS) (Balance of System) | 20% |
| الأعمال (Labor) | 15% |
| مصاريف التراخيص والفحص (Permits, inspection fees) | 15% |
| تكاليف التشغيل (operation costs) | 20% |

(Micro generation Certification Scheme (MCS)

جدول (٦) مقارنة بين حدود نسبة تكلفة مكونات المحطة الفوتوفلتية السكنية (جنوب فريقيا)

| المكون | محطة أعلى سطح مبنى | | محطة أرضية (مرتبطة بالشبكة العامة) |
|---|---|---|---|
| | مستقلة عن الشبكة العامة | مرتبطة بالشبكة العامة | |
| موديول بلوري (crystalline module) | 22 - 30% | 45 - 50% | 40 - 45% |
| العاكس (inverter) | 10 - 24% | 20 - 25% | 16 - 18% |
| أجزاء التثبيت المعدنية (mounting hardware) | 3 - 5% | 5 - 7% | 10 - 16% |
| البطارية (Battery) | 19 - 35% | - | - |
| متحكم الشحن (Charge controller) | 3 - 4% | - | - |
| المساعدات : الوصلات والمصهرات(wiring, fuses) | 2.2 - 5% | 5 - 7% | 4 - 5% |
| التصميم والإنشاءات ( design and installation) | 20 - 35% | 21 - 25% | 22 - 25% |
| أخرى other | 0.0 - 2% | - | - |
| الإجمالي total | 100% | 100% | 100% |

(Ahlfeldt: 2013, 47)

جدول (٧) تكلفة مكونات نظام الفوتوفلتية ٢١٠ كيلو وات منشأ علي سطح مبني تجاري

| المكون | التكلفة $/w |
|---|---|
| الموديولات (modules) | 4.83 |
| العاكس (inverter) | 0.68 |
| أعمال الإنشاءات (installation labor) | 0.19 |
| باقي مكونات النظام (Balance of system)) | 0.19 |
| أخري (miscellaneous) | 0.79 |
| الإجمالي | 6.67 |

(SAM module , DoE and Sandia National Labs)

جدول (٨) مقارنة بين تكلفة مكونات أنظمة فوتوفلتية

| البند | فوتوفلتية بلوري crystalline pv | فوتوفلتية فيلم رفيع Thin film pv |
|---|---|---|
| الكفاءة (Efficiency) | 12-20 % | 6-12% |
| الموديولات (modules) | 3-4 $/w | 1-3 $/w |
| باقي مكونات النظام (Balance of system) | 5-8 $/w | 4-7 $/w |

(lux Research , cleantech Network , various)

جدول (٩) تكلفة إنشاءات الأنظمة الفوتوفلتية

| النسبة | البند |
|---|---|
| 42% | إجراء تسجيل المصدر ، اللوجستية ، تملك المشترك ، مصاريف إضافية<br>(Supply chain , Logistics , Customer acquisition , Overhead , mark up) |
| 20% | موديولات الفوتوفلتية (pv modules) |
| 13% | الأعمال المباشرة (Direct labor) |
| 8% | الأعمال الهندسية (Engineering) |
| 7% | تركيبات باقي النظام (Structural BoS) |
| 7% | العاكسات وباقي النظام جهة التيار المتردد(Inverters & AC BoS) |
| 3% | باقي النظام جهة التيار المستمر (DC BoS) |

(Data courtesy GTM Research/SEIA: US. Solar Market Insight)

<u>تكلفة الطاقة ذات المستوي الواحد :</u> (Levelized cost of Energy) (LCOE)

(Levelized Energy Cost) (LEC)

هو صافي القيمة الحالية لتكلفة وحدة الكهرباء علي مدي عمر أصول معدات إنتاج الكهرباء.

وهو تقيم اقتصادي من الدرجة الأولي للتنافسية من حيث تكلفة نظام إنتاج الكهرباء والتي تشمل جميع التكاليف علي مدي عمر تشغيل النظام مثل : الإستثمارات الأولية ، التشغيل والصيانة ، تكلفة الوقود ، تكلفة رأس المال .

معادلة LCOE هي أداة تحليلية واحدة والتي يتم إستخدامها لمقارنة التكنولوجيات البديلة عند اختلاف مقياس التشغيل ، الاستثمارات ، والدورة الزمنية للتشغيل . مثلا تستخدم المعادلة LCOE لمقارنة تكاليف الطاقة المنتجة من المحطات الفوتوفلتية ومحطات الإنتاج بالوقود الأحفوري أو أي نوع آخر من تكنولوجيات إنتاج الطاقة .

تحسب تكلفة الطاقة من القيمة الحالية لكل التكاليف علي مدي عمر تشغيل الأصول مقسوما علي الناتج الإجمالي للأصول في مجال الطاقة الكهربائية .

تستخدم المعادلة التالية للحصول علي تكلفة الطاقة

$$LCOE = \frac{\text{مجموع التكاليف خلال عمر التشغيل}}{\text{مجموع الطاقة الكهربائية المنتجة خلال عمر التشغيل}} \quad (١)$$

$$= \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)t}}$$

حيث

$I_t$ = تكاليف الإستثمارات في السنة t

$M_t$ = تكاليف الصيانة والتشغيل في السنة t

$F_t$ = تكاليف الوقود في السنة t

$E_t$ = الطاقة الكهربائية المنتجة في السنة t

r = معدل الخصم

n = عمر التشغيل المتوقع للنظام أو لمحطة الكهرباء

وللتسهيل توضع المعادلة رقم (١) في صورة المعادلة رقم (٢)

**LCOE =**

$$\frac{\boldsymbol{INITIAL\ INVEST.} - \sum_1^N \frac{(Depre)n}{(1+Disc.rate)n}.(Tax\ rate) + \sum_1^N \frac{(Annual\ costs)n}{(1+Disc.rate)n}.(1-Tax\ rate) - \frac{Residual\ value}{(1+Disc.rate)n}}{\sum_1^N \frac{Initial\frac{Kwh}{kwp}.(1-system\ Degrad\ .rate)^n}{(1+Disc.rate)^n}}$$

(2)

حيث

أ- الإستثمارات الأولية (Initial investment)

تعرف الإستثمارات الأولية للأنظمة الفوتوفلتية بأنها التكاليف الكلية للمشروع بالإضافة إلي تكاليف الإنشاءات والبناء . تنحصر تكاليف رأس المال في :

- التكاليف المرتبطة بمساحة الأرض والتي تعتمد على الحجم الفعلي للنظام :الخلايا ، هيكل التثبيت ، التجهيزات ، التوصيلات وأنظمة الحماية .
- تكاليف الربط مع الشبكة العامة والتي تعتمد علي : سعة القدرة القصوي للنظام والعاكس ، المفاتيح الكهربائية ، المحولات ، أجهزة الوقاية .
- التكليف العامة المرتبطة بالنفقات العامة والمبيعات والتسويق .

ب- إنخفاض القيمة (Depreciation)

هو قيمة الإنخفاض الحادث في معدة ما نتيجة عملها خلال فترة زمنية .

ت- استحقاق ضريبة إنخفاض القيمة (Depreciation Tax Benefit)

هي القيمة الحالية على مدي عمر تمويل أصول المشروع . إن السياسة العامة التي تسرع من معدلات إنخفاض القيمة يكون لها استحقاق مباشر علي تكلفة طاقة النظام (LCOE) لأن إنخفاض القيمة السريع يتحول إلي استحقاق متميز أسرع لإنخفاض القيمة.

ث- التكاليف السنوية (Annual costs)

في حسابات LCOE يتم إضافة القيمة الحالية لتكاليف نظام التشغيل والصيانة السنوية إلي تكاليف دورة الحياة . تشتمل هذه التكاليف : صيانة العاكس ، وتنظيف الألواح الشمسية ، ومراقبة الموقع والتأمين ،وعقود إيجار الأرض وإعداد التقارير والنفقات العامة ،......

ج- القيمة المتبقية (Residual value)

عند حساب LCOE يتم خصم القيمة الحالية لقيمة الأصول في نهاية عمر التشغيل من مجموع تكلفة دورة الحياة. للخلايا السيليكون يكون ضمان الأداء ٢٥ عام ، لذا تكون القيمة المتبقية للمشروع ذات معني .

ح- عمر التشغيل المتوقع للنظام (n) (expected lifetime of system)

خ- الطاقة المنتجة في السنة الأولي (The first year energy production)

يعبر عن الطاقة المنتجة للنظام في السنة الأولي بالطاقة المنتجة (kwh) بالنسبة إلي السعة القصوي لمقنن القدرة (kw) سنويا أي يعبر عنها بـ ($kwh/kw_p$) والتي تكون دالة في :

- كمية الإشعاع التي يستقبلها موقع المشروع سنويا
- كيفية تثبيت النظام ومواجهته (هل التركيب علي سطح مبني ، ثابت زاوية الميل ، ....)
- المسافة بين خلايا الفوتوفلتية (panels)
- حساسية الأداء لدرجات الحرارة ، الحساسية للضوء المنخفض أو المنتشر
- مفقودات النظام نتيجة عدم التنظيف ، المحولات ، العاكسات ، عدم جودة التوصيلات
- إتاحية النظام عند حدوث عطل بالعاكس.

لحساب كمية الطاقة المنتجة في السنوات المقبلة ، يتم تطبيق معدل التدهور لأداء النظام الأولي لتعكس حالة مكونات النظام . يكون تدهور النظام (الي حد كبير بدلالة نوع

الخلايا الفوتوفلتية وجودة التصنيع ) وإمكانية التنبؤ به هو أهم عامل في تكاليف دورة الحياة والتي تحدد المستوي المحتمل للتدفقات النقدية مستقبلا .

أخيرا ، يحدد بند تمويل النظام مدة التدفقات النقدية والتأثير علي تقييم القيمة المتبقية للنظام.

د- معدل الخصم (Discount rate)

هو سعر الفائدة علي مبلغ معين من المال اليوم وخلال فترة زمنية

ويحسب عامل الخصم من المعادلة التالية :

Discount factor = عامل الخصم

$$= \frac{1}{(1+r)^n}$$

حيث

r = معدل الخصم

n = الفترة الزمنية

ذ- عامل السعة (Capacity Factor)(CF)

يعرف عامل السعة من المعادلة التالية

$$CF = \frac{average\ power}{max.power\ capability}$$

$$= \frac{\text{متوسط القدرة}}{\text{أقصي قدرة متاحة}}$$

يمثل عامل السعة مقياس للكفاءة فمثلا :

- عامل السعة المرتفع يعني أن كفاءة المحطة أعلي
- للخلايا الشمسية عامل السعة حوالي 18%
  ( للمقارنة عامل السعة لمحطات الفحم يمكن أن يصل إلي أكبر من 80%)

ر-   معدل تدهور النظام (system Degradation rate)

خلال عمر تشغيل الموديولات ينخفض أداءها . نموذجيا يكون معدل التدهور أعلي في السنة الأولى نتيجة التعرض للضوء ثم تستقربعد ذلك . من العوامل المؤثرة علي معدل التدهورنوعية المواد المستخدمة في التصنيع وعملية التصنيع وجودة التجميع والتعبئة والتغليف للوحدات الفوتوفلتية في الموديولات ، بالإضافة إلي مستوي الصيانة. يمكن تقليل معدل التدهور بإجراءات الصيانة الدورية والتنظيف المستمر للخلايا .

يختلف مدي وطبيعة معدل التدهور طبقا لتكنولوجيات الموديولات ، مثلا بالموديولات البلوريه يحدث للخلايا تدهور نتيجة التعرض لضوء غيرمتقلب ، يرجع هذا لوجود البورون والأكسجين أو غيرها من المواد الكيميائية التي تخلفها عملية إنتاج الخلايا .

يحدث تدهور لخلايا السيليكون غير البلوري (amorphous ) خلال عملية تسمي تأثير (staebler-wranski) هذا التدهور يؤدي إلي انخفاض 10% إلي 30% في الطاقة المنتجة من الخلايا بالستة أشهر الأولي للتشغيل وذلك عند التعرض للضوء يلي ذلك استقرار التدهور واستمراره بمعدل أبطأ بكثير . غالبا يتم تسويق هذا النوع من الخلايا عند مستويات أداء مستقرة . ومن المثير للإهتمام أن أداء الوحدات يستعاد خلال أشهر الصيف ( لتحسن الأداء في درجات الحرارة المرتفعة ) ، وإنخفاض الأداء مرة أخري في أشهر الشتاء الباردة . إلي جانب ذلك توجد أسباب أخري لتدهور الخلايا البلورية أو غير البلورية منها :

- تأثير البيئة علي سطح الموديول (مثل التلوث)
- حدوث تلون أو ضباب على الغلاف الخارجي أو الزجاج
- عيوب بالشرائح (Lamination)
- الإجهادات الميكانيكية والرطوبة علي أماكن الرباطات
- إنهيار بخلايا الاتصال
- حدوث تدهور بالتوصيلات

من خلال دراسات موقع مختلفة ثم قياس معدل التدهور لموديولات بلورية تقليدية ، كانت النتائج بين 0.7% ، 1.5% في السنة . وأن عمر تشغيل الموديولات تراوح بين سنتين وإثنين وعشرين سنة

يوضح جدول (١٠) هذه النتائج

جدول (١٠) نتائج قياس معدل التدهور

| البند | معدل التدهور سنويا (%) |
|---|---|
| دراسة (١) | 1 % |
| دراسة (٢) | 0.7 % |
| دراسة (٣) | 1.5 % |
| دراسة (٤) | 1.12 % |
| دراسة (٥) | 0.76 % |

Sunpower module Degradation rate

عمليا يمكن أن يحدث لموديولات الفوتوفلتية معدل تدهوربقدرة المخرج بين ٠,٣% ، ١% سنويا .للموديولات البلورية يكون التدهور العام حوالي ٠,٥% سنويا وهي نسبة تؤخذ في الأعتبار عند التطبيق .عموما تفرض نسبة ثابتة لمعدل التدهور تساوي ٠,٥% سنويا

**قيم التكلفة LCOE لبعض أنواع تكنولوجيات إنتاج الطاقة الكهربائية**

يوضح جدول (١١) البيانات الأساسية لبعض التكنولوجيات وتكلفة الطاقة (LCOE)

قيم التكلفة LCOE لبعض المشاريع التي لها سعر 4-9 $/w إعتمادا علي نوع الإنشاءات كما هو موضح في جدول (١٢) .

جدول (١١) مقارنة بين بعض تكنولوجيات إنتاج الطاقة الكهربائية وتكلفة الطاقة

| النوع | البيانات الاساسية | | | | | LCOE $/kwh |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | التكلفة الأولية $/kw | عامل السعة | تكلفة الوقود $/Mwh | تكلفة الصيانة والتشغيل $/Mwh | عمر التشغيل (سنة) | |
| الفوتوفلتية الشمسية (بلوري) solar pv (crystalline) | 5500 | 18% | - | 8 | 25 | 0.14 |
| الفوتوفلتية الشمسية (فيلم رفيع) Solar pv (thin film) | 4500 | 18% | - | 10 | 25 | 0.12 |
| شمسي حرارية Solar thermal) | 4000 | 75% | - | 8 | 20 | 0.09 |
| الغاز الطبيعي Nat. Gas (CCGT) | 1000 | 85% | 43 | 6 | 40 | 0.04 |
| الفحم (Coal) | 2750 | 85% | 30 | 10 | 45 | 0.05 |
| الرياح (Wind) | 2500 | 35% | - | 10 | 25 | 0.04 |

(Credit Suisse first Boston)

Combined-cycle gas turbine (CCGT) plants

جدول (١٢) امثلة لتكلفة LCOE لبعض أنواع الانشاءات

| البند | سكني | تجاري | مرافق |
|---|---|---|---|
| قدرة النظام | 3.8kw | 210kw | 10Mw |
| التكلفة ($/Wp, in US) | 8.98 | 6.68 | 4.93 |
| تكلفة LCOE ₵/kwh-(phoenix) | 31.78 | 22.91 | 26.09 |
| تكلفة LCOE ₵/kwh-(Boston) | 41.89 | 30.44 | 36.49 |

(SAM model, built by DOE and Sandra National Labs)

## حساب وفر فاتورة الكهرباء عند استخدام نظام فوتوفلتية (صافى حساب)

- حدد حجم النظام بوحدة (KW) الحدود المناسبة للمنزل تكون بين 1 الى 5KWهذه القيمة هي المكون لقدرة النظام كمدخل للمعادلات فيما بعد .
- على أساس الموقع الجغرافى للمكان ، واستخدام الخرائط المتاحة ، للحصول على (kwh/ kw. Year ) ثم إحسب الطاقة الناتجة من نظام الفوتوفلتية (سنويا) :

Energy from the PV system = (kW of PV) * (kWh / kw.year)

= kWh / year

( للحصول على الإنخفاض فى الطاقة الكهربائية الشهرية يتم قسمة الطاقة السنوية المحسوبة على ١٢ شهرا )

ثم يحسب الوفر السنوى فى فاتورة الكهرباء من المعادلة :

Energy bills savings = (kWh / year) × (residential rate)

=$/year saved

فى المعادلة السابقة فإن تعريفة إستهلاك الكهرباء المنزلية (residential rate) تكون بـ $/kwh فمثلا إذا كانت التعريفة 10 cents /kwh فتحول إلى 0.1$/kwh

مثال لمحطة فوتوفاتية قدرة 2kw ، التعريفة المنزلية $0.07/kwh ، عامل إنتاج الطاقة لكل ك.و يكون 1900kwh/kw

يحسب الوفر السنوى كالاتى :

= (2kw) (1900 kWh/kw. year) (0.007 $ / kWh)

= 266 $/year

## معايير التكاليف الفاعلية ( Critical for Cost – effectiveness)

هذه المعاييريمكن أن تعتمد على صانع قرار الإستثمارات .من بعض التوجيهات العامة لتحديد التكاليف الفاعلية لأى مشروع طاقة هى :

SIR تكون أكبر من واحد

AIRR تكون أكبر من معدل الخصم

LCC تكون أقل من دورة حياه أفضل بديل تالى لنظام الطاقة

PP تكون أقل من عمر نظام المحطة الشمسية

يوضح جدول (١٣) معايير التقييم الاقتصادى

جدول (١٣) معايير التقييم الاقتصادى

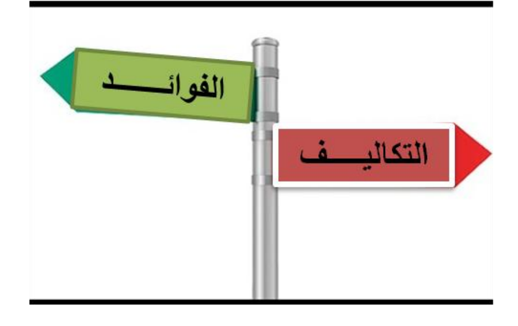
| معيار التقييم | المعيار الاقتصادى |
|---|---|
| فترة الاسترداد(PP)<br>(payback period ) | عمر نظام التكامل الفوتوفلتية>PP |
| معدل الوفر/ الاستثمارات (SIRR)<br>Saving to investment rate | SIRR > 1.0 |
| معدل الاسترجاع الداخلى المضبوط (AIR)<br>Adjusted internal rate of return | AIR > معدل الخصم |
| قيمة الصافى الحالية (NPV)<br>Net present value | NPV > 0.0 |
| تكاليف دورة الحياة LCC<br>Life – cycle costs | أقل من دورة حياة البدائل الاخرى |

يعرف زمن إسترداد الطاقة (energy payback time) بأنه الزمن اللازم للخلية الفوتوفلتية لإنتاج طاقة تكافىء تلك التى استخدمت فى إنتاجها ..

وتكون فترة الإسترداد هى خارج قسمة الإستثمارات على الوفر ، الإستثمارات عبارة عن تكلفة النظام الشمسى ( المحطة الشمسية ) ، والوفر ينتج من سعر الطاقة الشمسية المنتج.

أما فترة الإسترداد (payback period) للأنظمة الشمسية فإنها بين ٨ إلى ١١ سنة . بينما عمر تشغيل النظام حوالى ٣٠ سنة ، حوالى ٦٠% من الطاقة الواردة ترجع إلى شرائح السيليكون .

- من الناحية النموذجية تكون تكلفة الموديولات حوالى ٤٠-٦٠ % من التكلفة الكلية للأنظمة الفوتوفلتية ، أما باقى النسبة تكون تكلفة العاكس ( الإنفرتر ) وهيكل تثبيت المصفوفة والكابلات الكهربائية والإنشاءات .
- تعتمد أغلب تكنولوجيات الفوتوفلتية على شرائح السيليكون البلورى – شبه الموصلات – والتى تكون أكثرتكلفة إنتاج مقارنة بالمصادرالأخرى لإنتاج الطاقة.
- تحتاج المعدات ذات التكلفة الأولية العالية تشجيع كبير على نطاق واسع تجاريا.



# الباب السابع عشر
# متوسط الطاقة المنتجة سنويا
# Energy Yield

تعتمد كمية الطاقة المنتجة سنويا من مخرج الأنظمة الفوتوفلتية والتي تعرف بـ Energy Yield علي العوامل الآتية :

- اتجاه وزاوية ميل الخلايا الشمسية (والتى يجب أن يُختار الأفضل )
- تعرض الخلايا للظلال
- عدد ساعات سطوع الشمس
- شدة الإشعاع الشمسى

يتأثر مخرج المصفوفة بالآتي :

- متوسط الإشعاع الشمسي عند الاتجاه والميل المحدد
- سماحية صناعة الموديولات
- تأثير درجة الحرارة علي الموديولات
- تأثير الإتساخ علي الموديولات
- مفقودات النظام
- كفاءة العاكس

تحسب كمية الطاقة المنتجة سنويا من المعادلة الآتية

$E_{\text{sys}}$ = A .$\eta_{nom}$ . G . PR

حيث

$E_{\text{sys}}$= الطاقة المنتجة (Kwh)

A= المساحة الكلية للمصفوفة الفوتوفلتية ($m^2$)

$\eta_{nom}$ = انتاج الموديول (%) (أي الكفاءة الأسمية للموديول)

G= متوسط الإشعاع الشمسي السنوي علي المصفوفة المائلة ($kwh/m^2$)

PR = نسبة الأداء (%)

نحسب $(\eta_{nom})$ من النسبة بين القدرة الكهربائية (Kwp) لموديول واحد ومساحته ($m^2$)
فمثلا لموديول 250 Wp ومساحته 1.6 $m^2$ تكون 15.6% =$\eta_{nom}$

وذلك عند حالة الإختبار القياسية (STC) وهي :

الإشعاع = 1000 $w/m^2$

درجة حرارة الخلية = 25 C°

AM = 1.5

سرعة الرياح = 1 m/s

تعتبر (PR) (Performance Ratio) قيمة هامة جدا لتقييم جودة انشاءات الفوتوفلتية (وتسمي أيضا بعامل الجودة Quality Factor) ولا تعتمد علي اتجاه وميل الخلايا . ولكن تعتمد علي جميع المفقودات .

تحسب نسبة الأداء طبقا للمعادلة الآتية :

$$PR = \frac{\text{الانتاج الفعلي (AC)}}{\text{الانتاج الهدف (DC)}}$$

$$= \frac{E_{sys}}{G\ A\ \eta_{nom}}\ \eta_{pre}\eta_{rel}\eta_{sys}$$

$E_{sys}/A$ = طاقة المخرج / المساحة

$$= G\ .\ \eta_{pre}\cdot\eta_{rel}\cdot\eta_{sys}\cdot\eta_{nom}$$

$$= PR.\ G.\eta_{nom}$$

$E_{sys}/P_{peak}$ = طاقة المخرج / القدرة المقننة

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

$$= \frac{G}{G_0} \cdot \ \eta_{pre} \cdot \eta_{rel} \cdot \eta_{sys}$$

$$= \ (\frac{E_{sys}}{A})(\frac{1}{G_0 . \eta_{nom}} \ )$$

$$= PR. \frac{G}{G_0}$$

حيث

| $E_{sys}$ | متوسط الطاقة المنتجة سنويا من المصفوفة (Kwh) |
|---|---|
| $P_{peak}$ | قدرة مخرج المصفوفة عند حالات الإختبار القياسية (kw) |
| $\eta_{pre}$ | كفاءة قبل التحويل (pre-conversion efficiency) |
| $\eta_{sys}$ | كفاءة النظام (system efficiency) |
| $\eta_{rel}$ | كفاءة الموديول النسبية (Relative module efficiency) |
| $\eta_{nom}$ | كفاءة الموديول الإسمية (Nominal module efficiency) |
| $G_0$ | $1000\ w/m^2$ |

عند حساب نسبة الأداء يؤخذ في الإعتبار جميع المفقودات ، وهى : مفقودات قبل التحويل ، مفقودات العاكس ، المفقودات الحرارية ومفقودات التوصيل . من المفيد قياس نسبة الأداء خلال تشغيل النظام لتحدد مفقودات الإنتاج .
تعكس كفاءة قبل التحويل ( $\eta_{pre}$) المفقودات التي يتعرض لها الإشعاع قبل وصوله الفعلي لمادة شبه الموصلات ، والحادثة بسبب الظلال ، الإتساخ ، الثلوج ، والإنعكاسات البعيدة عن الزجاج .
بينما تعكس كفاءة النظام ($\eta_{sys}$) المفقودات الكهربائية ، الحادثة بسبب التوصيلات ، والعاكس والمحول.
يعرف الموديول بالكفاءة الإسمية $\eta_{nom}$ والكفاءة النسبية $\eta_{rel}$

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

**مفقودات الطاقة (Energy Losses)**

أحيانا يكون من البديهي أن يتم حساب مفقودات الطاقة من مفقودات كل مرحلة أو من كفاءة كل مكون .

في كلا الحالتين فإن :

المفقودات = ١- الكفاءة

يوضح شكل (١) أنواع المفقودات في الخلية الفوتوفلتية

تصنف مفقودات الطاقة إلي :

١. مفقودات قبل الفوتوفلتية (pre-photovoltaic losses)

تعني الإنخفاض الحادث في الضوء قبل وصوله إلي الخلايا الفوتوفلتية ، نتيجة الظل والأتربة والثلوج والانعكاسات . عند استخدام أنظمة مركزات فوتوفلتية ، عندئذ يضاف مفقودات أجهزة المركزات .

٢. المفقودات الحرارية ومفقودات الموديول (Module and thermal losses)

تعكس الكفاءة واعتماد موديول الخلية علي درجة الحرارة

٣. مفقودات النظام (System losses)

تشير إلي مفقودات المكونات الكهربائية : الأسلاك والعاكسات و .....

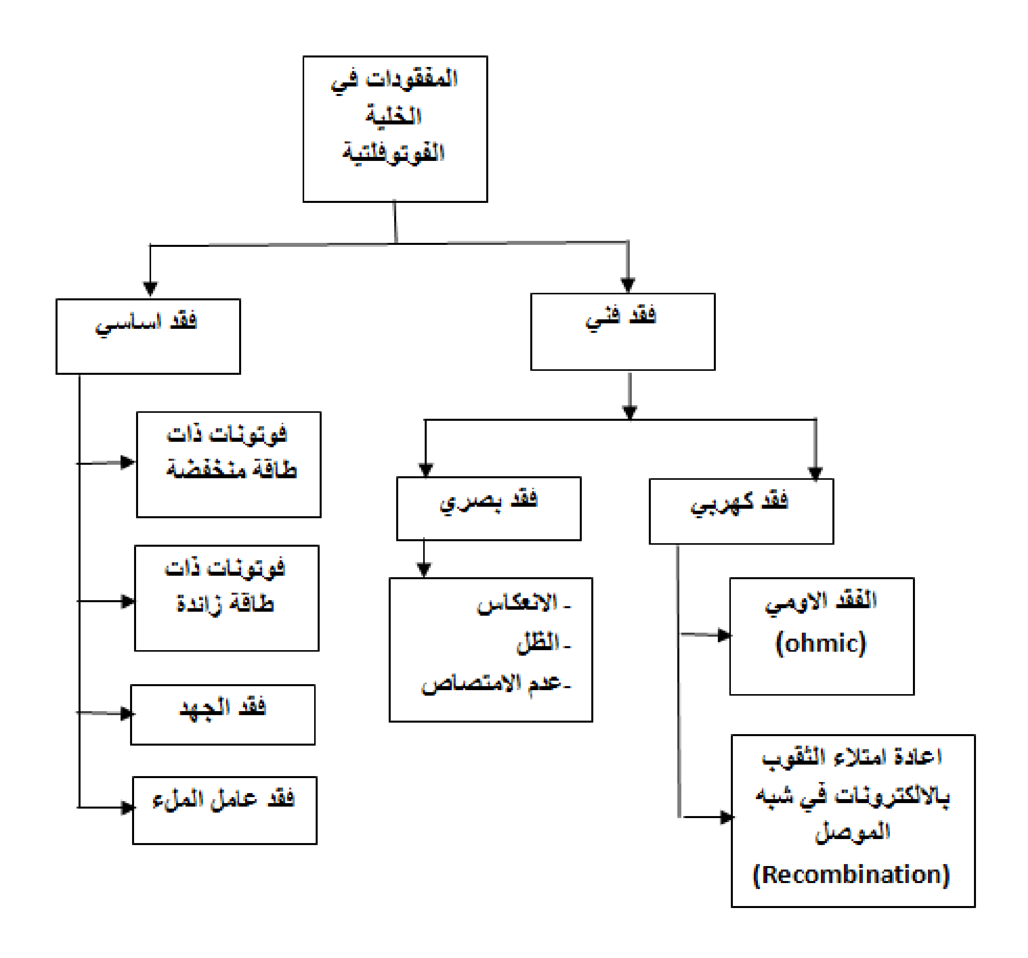
يوضح شكل (٢) نسبة المفقودات طبقا للتصنيف السابق

ويبين جدول (١) تصنيف مفقودات الطاقة وأسبابها .

يوضح شكل (٣) تمثيل لعامل الأداء والمفقودات ، يوضح جدولى (٢)& (٣) أمثلة لحدود مفقوادات مكونات الأنظمة الفوتوفلتية

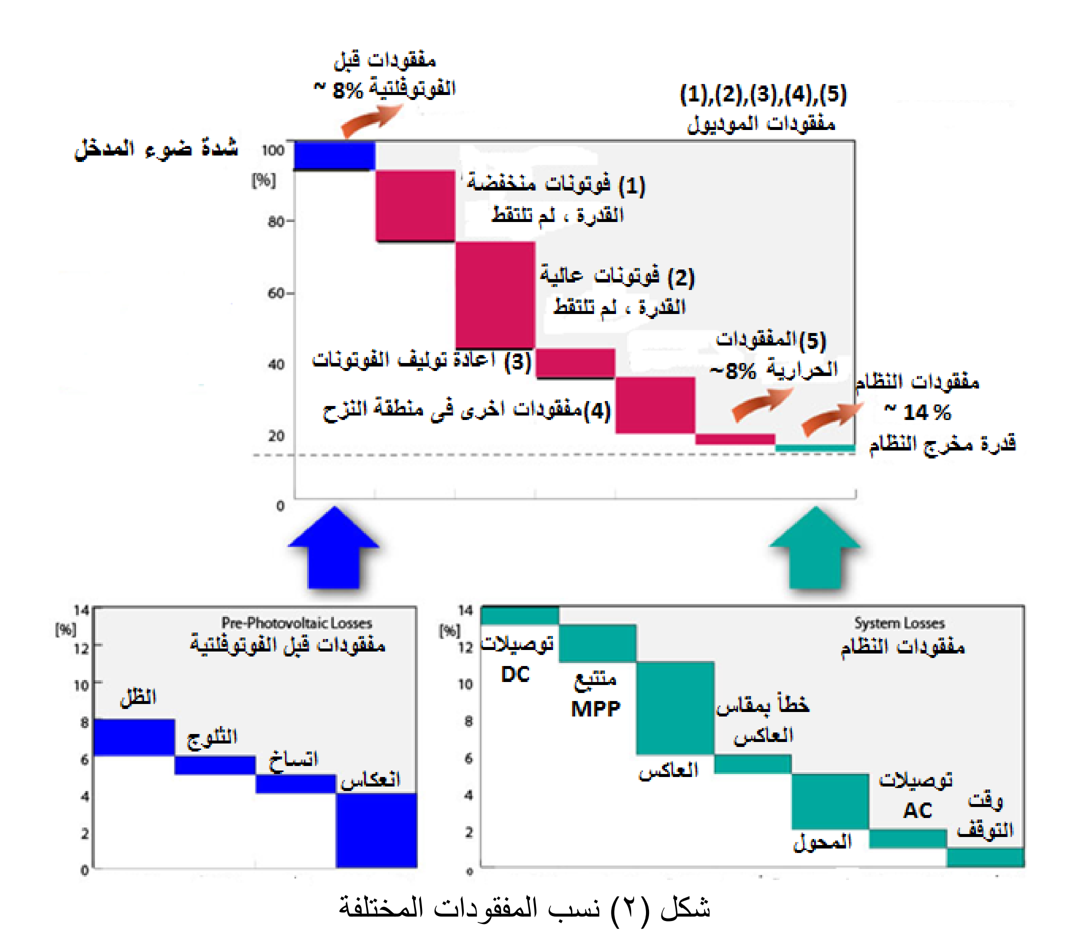
يوضح جدول (٤) مثال لنسب الفقد لمحطة PV والطاقة المحسوبة عند كل مرحلة (بفرض الطاقة النموذجية E ideal=1200 Kwh

متوسط الطاقة المنتجة سنويا




شكل (١) أنواع المفقودات في الخلية الفوتوفلتية

متوسط الطاقة المنتجة سنويا




شكل (٢) نسب المفقودات المختلفة

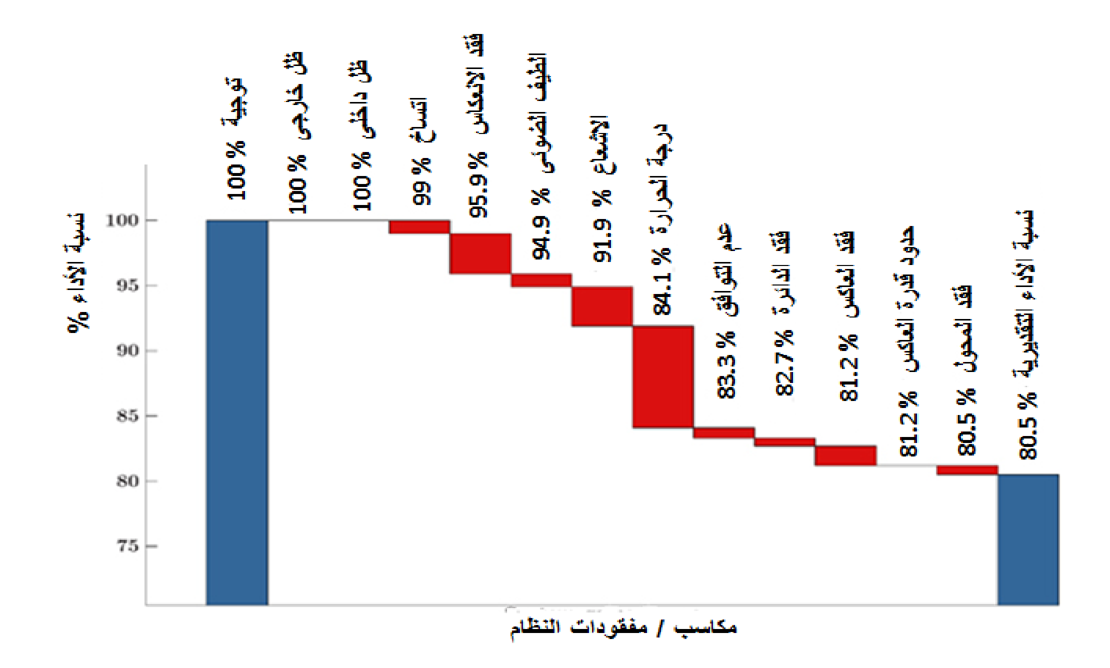
جدول (١) تصنيف مفقودات الطاقة

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

| التعريف | السبب | تصنيف مفقودات الطاقة |
|---|---|---|
| باعتبار ان الموديولات لا تنتج القدرة المنصوص عليها بلوحة البيان ، فإن الصانع ينص علي سماحية القدرة حتي 5% | سماحية مقتن القدرة | مفقودات قبل الفوتوفلتية (أو قبل الموديولات) |
| يمكن أن يحدث الظل بسبب الأشجار أو المداخن أو... اعتمادا علي سلاسل الخلايا ، يسبب الظل الجزئي تاثير هام | الظل | |
| يمكن أن تصل نسبة الفقد نتيجة الاتساخ إلي 4% في درجات حرارة المنطقة مع الأمطار المتكررة . | الإتساخ | |
| اعتمادا علي المكان وتأثير أعمال الصيانة | الثلوج | |
| تزيد مفقودات الانعكاس مع زاوية الانعكاس أو السقوط (incidence angle) . ويكون التأثير منخفض في الأماكن التي تتعرض لجزء كبير من الضوء المبعثر (diffuse light) مثل السحاب | الإنعكاس | |
| تعطي كفاءة التحويل الإسمية من الصانع عند حالات الاختبار القياسي (STC) | التحويل | مفقودات الموديولات |
| عند زيادة درجة الحرارة تزيد مفقودات التحويل .تعتمد هذه المفقودات علي الاشعاع (أي المكان) ، طريقة التركيب (زجاج ، الخصائص الحرارية للمواد) وعلي سرعة الرياح .وتفرض تقريبا 8% | المفقودات الحرارية | |
| اية كابلات لها مقاومة وبالتالي مفقودات | التوصيلات | مفقودات النظام (تقريبا ١٤ %) |
| مقدرة متتبع نقطة أقصي قدرة (MPPT) لايجاد النقطة المناسبة | نقطة أقصي قدرة | |
| كفاءة العاكس | العاكس | |
| إذا كان العاكس بقدرة أقل من | خطئ بمقاس العاكس | |

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

| | mis-sized )<br>(inverters<br>(clipping) | المطلوب ، تقتضب القدرة من الاشعاع الشمسي العالي . إذا كانت قدرة العاكس أكبر من المطلوب ، تنخفض كفاءة العاكس مع انخفاض الاشعاع |
|---|---|---|
| | المحول | تؤخذ مفقودات المحولات في الإعتبار عند الربط مع الشبكة العامة للكهرباء علي الجهد العالي |
| الصيانة والتشغيل | زمن التوقف | للأنظمة الفوتوفلتية يكون زمن التوقف للصيانة صغير جدا |




شكل (٣) تمثيل لعامل الأداء والمفقودات

جدول (٢) أمثلة لحدود مفقودات مكونات الأنظمة الفوتوفلتية

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

| حدود نسبة الفقد | نوع الفقد |
|---|---|
| 4% : 15% | مفقودات العاكس |
| 5% : 18% | مفقودات درجة الحرارة |
| 1% : 3% | مفقودات كابلات التيار المستمر |
| 1% : 3% | مفقودات كابلات التيار المتردد |
| تحدد حسب الحالة | التعرض للظل من صفر % إلي 80% |
| 3% : 7% | مفقودات الاشعاع المنخفض |
| 2% | مفقودات نتيجة الأتربة والثلوج |
| ? | مفقودات أخري |

جدول (٣) المفقودات النموذجية للنظام

| انظمة pv تركب علي الارض | انظمة pv تركب علي السطح | نوع الفقد |
|---|---|---|
| 2.5 % : 4 % | 2.5 % : 5 % | تلوث سطح الموديولات |
| 0.5 % : 2 % | - | ظل في الصفوف الداخلية |
| 1 % : 2 % | 1 % : 3 % | مفقودات الكابلات/سوء توافق |
| 1 % : 2 % | - | المحولات ومفقودات AC |
| 1 % : 2 % | 1.5 % : 3 % | مفقودات نتيجة مدي الاتاحية |
| 6 % : 12 % | 5 % :11 % | اجمالي مفقودات النظام |

| 93% : 97% | 91% : 95% | الكفاءة النموذجية للعاكس |
|---|---|---|

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

جدول (٤) مثال لنسب الفقد لمحطة PV والطاقة المحسوبة عند كل مرحلة (بفرض الطاقة النموذجية E ideal=1200 Kwh

| نوع الفقـــــــد | حدود نسبة الفقد % | مثال نسبة الفقد % | الطاقة Kwh/1Kwp |
|---|---|---|---|
| الظل | 0.0 – 5 % | 2.5% | 1170 |
| إتساخ | 1.0 – 3.0 % | 2.0 % | 1147 |
| إنعكاس | 3.0 -5.0 % | 4.0 % | 1101 |
| تغير الطيف عن AM1.5 | 1.0 – 2.0 % | 1.5 % | 1084 |
| عدم التوافق والإنحراف عن قيم المصنع | 0.5 – 2.5 % | 1. 7 % | 1066 |
| انخفاض كفاءة الموديول عن كفاءة الإختبار القياسي | 4.0 – 9.0 % | 6.0 % | 1002 |
| مفقودات DC | 0.5 – 1.5 % | 0.7 % | 995 |
| خطأ توافق MPP سواء بالزيادة أو النقصان من المحدد بالعاكس | 0.5 – 3.0 % | 1.5 % | 980 |
| مفقودات تحويل العاكس | 3.0 – 7.5 % | 5.0 % | 930 |
| مفقودات كابلاتAC | 0.2 – 1.5 % | 0.5 % | 926 |
| الطاقة الحقيقية E real | | | 926 |

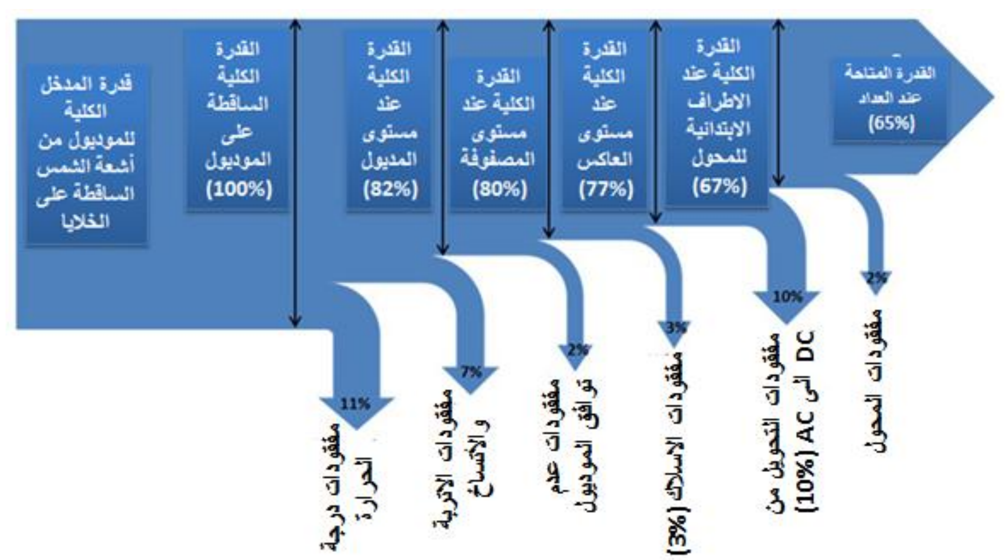
**مخطط سانكي للطاقة المنتجة (Sankey diagram for Energy Yield)**

هو مخطط بياني يوضح سريان الطاقة المنتجة من مصفوفة الفوتوفلتية أخذا في الاعتبار نوع ونسبة المفقودات المختلفة

(تنسب تسمية هذا المخطط إلي الكابتن الايرلندي " ماتيو هنري ريال سانكي" الذي استخدم هذا النوع من الرسم في عام ١٨٩٨ لتوضيح كفاءة استخدام الطاقة في محرك بخاري )

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

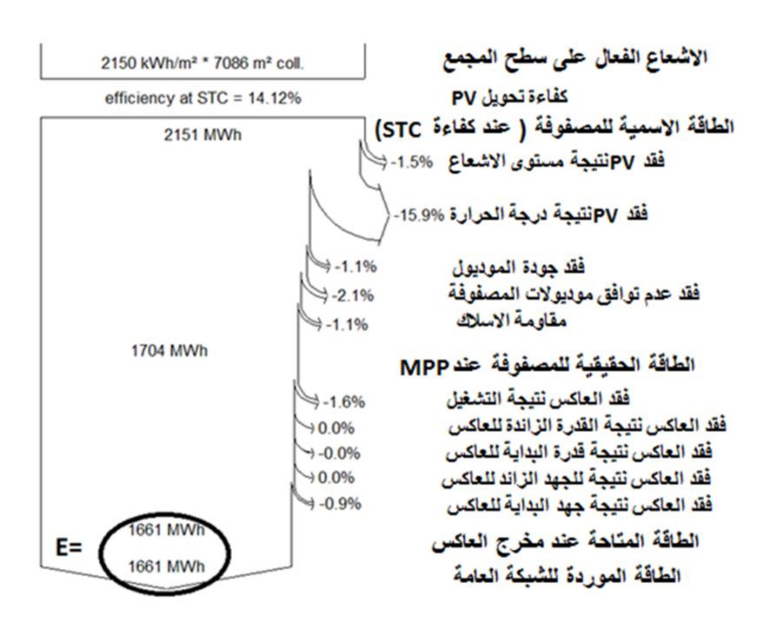
يوضح شكل (٤) مخطط سانكي للطاقة المنتجة من الموديول وحتي العداد ونوع ونسبة المفقودات المختلفة .يوضح شكل (٥) مخطط سانكي للطاقة المنتجة من مصفوفة وحتي الشبكة ، ونوع ونسبة المفقودات المختلفة ( ناتج من برنامج حاسب آلى )




شكل (٤) مخطط سانكي للطاقة المنتجة من الموديول وحتي العداد ونوع ونسبة المفقودات المختلفة

-

متوسط الطاقة المنتجة سنويا




شكل (٥) مخطط سانكي للطاقة المنتجة من مصفوفة وحتي الشبكة ونوع ونسبة المفقودات المختلفة

## خفض قدرة مخرج الموديول (Derating Modules outputs)

يفضل بعض المتخصصين في المجال استخدام تعبير خفض القدرة (derating)(والتي تعني خفض القدرة بنسبة محدودة لتحسين الاداء ) بدلا من استخدام المفقودات وان كان التعبيرين يصلا إلي نفس النتيجة والهدف .

يتم تخفيض قدرة المخرج نتيجة للاتي :

- تخفيض القدرة نتيجة سماحية المخرج طبقا للصانع
- تخفيض القدرة نتيجة الاتساخ
- تخفيض القدرة نتيجة درجة الحرارة

فيما يلي توضيح ذلك

١) تخفيض قدرة الموديول نتيجة التصنيع

- يحدد مخرج الموديول بوحدة w وبسماحية موضوعه علي اساس ان درجة حرارة الخلية ٢٥ م° ، تاريخيا كانت هذه السماحية 5%±وحاليا اصبحت 3% ±
- يجب عند تصميم النظام ان تؤخذ هذه النسبة في الاعتبار .

مثلا لموديول 160 w ونسبة سماحية 5%- ، فان القدرة المنخفضة تكون 152w بمعنى اخر حدوث فقد بنسبة 5% في قدرة الموديول .

٢) تخفيض القدرة نتجة الاتساخ

- تنخفض قدرة الموديول بعد التشغيل نتيجة تعرض السطح للاتساخ والاتربة والرطوبة
- عادة يكون تخفيض القدرة في هذه الحالة 5% اي فقد مسموح 5%

في الموديول قدرة 160w بفرض 5% تخفيض قدرة التصنيع و 5% تخفيض قدرة الاتساخ

فتصبح قدرة الموديول بعد التخفيض 144.4w

٣) تخفيض القدرة نتيجة درجة الحرارة

تخفض قدرة الموديول نتيجة ارتفاع درجة الحرارة الاعلي من ٢٥ م° وتزيد مع انخفاض درجة الحرارة عن ٢٥ م°

وتكون اقل درجة حرارة مؤثرة = درجة الحرارة المحيطة + ٢٥ م°

يختلف معامل درجة الحرارة (temperature coefficient) تبعا لنوع الموديول ، كما هو موضح في جدول (٤)

جدول(٤) معامل درجة الحرارة لانواع الموديولات

| نوع الموديول | معامل درجة الحرارة | توضيح |
|---|---|---|
| موديولات احادية البلورة | -0.45%/ C° | نسبة التخفيض لكل درجة حرارة اعلي من 25 c° (درجة حرارة الخلية عند STC) |
| موديولات متعددة البلورة | -0. 5%/ C° | |
| موديولات الفيلم الرفيع | 0.0%/ C°:-0.25%/ C° | |

**<u>مثال :</u>**

بفرض ان درجة الحرارة المحيطة 30 C° وموديول متعددة البلورة قدرة 160W

اقل درجة حرارة مؤثرة = 30C° + 25C°=55C°

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

اي ان 30C° اعلي من درجة حرارة STC وهي 25C°

فقد درجة الحرارة = 30C° (0. 5%/ C°) = 15%

في حالة الموديول 160W الذي تعرض لانخفاض قدرة التصنيع 5% ، وتخفيض قدرة الاتساخ 5% وتخفيض قدرة نتيجة فقد درجة الحرارة لذا فان

قدرة الموديول بعد التخفيض = 160W (0.95 X 0.95 X 0.85) = 122.74 W

متوسط الطاقة المنتجة سنويا

# الباب الثامن عشر
# تطبيقات عملية(١)
# إنارة الشوارع باستخدام الطاقة الشمسية
# Street lighting using solar energy

نظرا للتزايد المستمر لاستهلاك الكهرباء وبالتالي زيادة التكاليف نتيجة استخدام الوقود الأحفوري في إنتاج الطاقة الكهربائية ومع الاتجاه العالمي لأهمية تخفيض انبعاثات غازات الإحتباس الحراري، فكان الإهتمام باستخدام الطاقة الشمسية.

يتكون عمود الإنارة التقليدية من جسم العمود ولمبة الإنارة والكشاف وأسلاك التوصيل بالإضافة إلى كابلات التغذية.ومن الشائع استخدام لمبات صوديوم عالي الضغط أو منخفض الضغط أو أي نوع من اللمبات الموضحة بشكل (١) ومن عيوب ذلك:

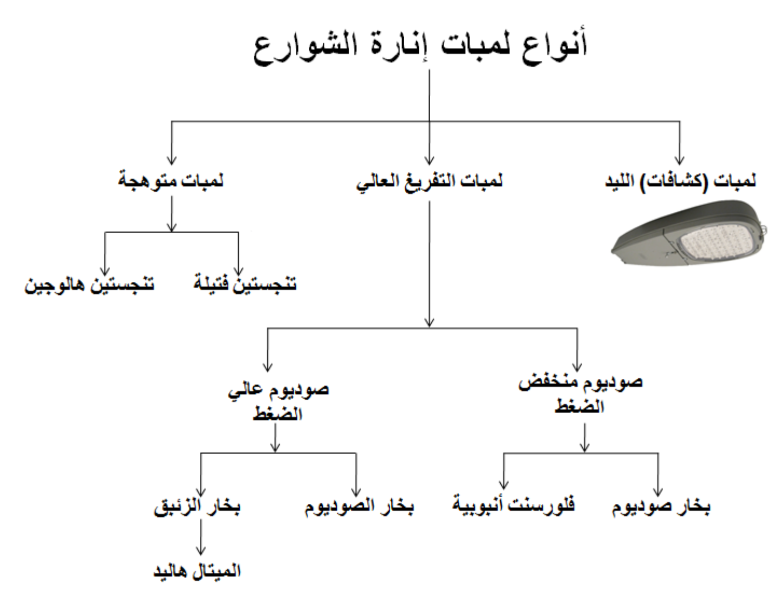
١) كشاف الصوديوم
- انخفاض عمر التشغيل مقارنة بكشافات الليد
- انخفاض شدة السطوع
- ارتفاع استهلاك الطاقة الكهربائية
- إضاءة لونها أصفر تسبب رؤية سيئة للمشاه وقائدي السيارات خاصة بالمناطق الصحراوية والطرق السريعة

٢) تحتاج الأعمدة إلى مصدر كهرباء خارجي (من خلال كابلات أرضية أو هوائية)

٣) عند وجود مشكلة في أحد الأعمدة فإنه يتم فصل الخط بالكامل لعمل الصيانة لعمود واحد.

٤) سهولة سرقة الكهرباء من توصيلات العمود.

للتخلص من كل أو بعض هذه العيوب ظهر الإتجاه إلى إنارة الشوارع باستخدام الطاقة الشمسية.




شكل (١) أنواع لمبات إنارة الشوارع

مميزات استخدام الطاقة الشمسية في إنارة الشوارع:

١. انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة
٢. لايؤثر انقطاع التيار الكهربي على إنارة الشوارع
٣. سهولة الإستخدام في أي موقع
٤. وجود بطاريات يعمل على الإنارة في الأيام الغائمة أو الممطرة
٥. عدم الإحتياج للصيانة لمدة خمسة سنوات
٦. مصدر أفضل للإنارة، حيث تتميز لمبات الليد بالضوء الأبيض الهادي بدون أن يصاحبها ارتعاش
٧. صديقة للبيئة
٨. لاتوجد مخاطر الصعق بالكهرباء.

**تتكون أعمدة الإنارة بالطاقة الشمسية من:**

- كشاف ليد
- موديول فوتوفلتية (لوحة الطاقة الشمسية)
- بطارية (أو بطاريات)
- شاحن ومنظم للبطارية
- عمود الإنارة

- كابلات التوصيل بين مكونات النظام
- علبة معزولة لوضع البطارية. يوضح شكل (٢) مكونات عمود الإنارة بالطاقة الشمسية.




شكل (٢) مكونات عمود الإنارة بالطاقة الشمسية.

**<u>مواصفات عامة لنظام إنارة الشوارع بالطاقة الشمسية</u>**

- من الأنظمة غير المتصلة (مستقلة عن) الشبكة العامة للكهرباء
- يقوم النظام بتخزين الطاقة الشمسية طوال ساعات النهار وتشغيل الإنارة ليلا
- يعمل النظام أتوماتيكيامن غروب الشمس حتى الشروق
- يعمل النظام لعدة أيام (طبقا لمواصفة البطاريات) في حالة عدم سطوع الشمس نهائيا في هذه الأيام.

فيما يلي تعريف لمكونات النظام

١. **كشاف الليد**

يوضح شكل (٣) أنواع مختلفة من كشافات الليد، والتي يجب أن تحدد بـ:

- جهد التشغيل ١٢ فولت أو ٢٤ فولت تيار مستمر.
- كفاءة الكشاف

- عمر التشغيل
- درجة الحماية
- الوزن
- زاوية الشعاع
- ماص الحرارة
- درجة حرارة اللون

في كشافات الليد يُوصى بإختيار اللون البيض المحايد (natural white) للأسباب الآتية:

- من خلال دراسات photopic & scotopic تم إثبات أن الضوء الأبيض المحايد الناتج عن الليد يسهل عملية أدراك المخ للضوء
- يوجد ارتباط بين اللون الأبيض المحايد والحد من أُكتئاب وتقليل التعب وتحسين اليقظة
- نوع الإضاءة يُحسّن نوعية الحياة والرفاهية.
- أعلى من حيث الكفاءة.



شكل (٣) أنواع مختلفة من كشافات الليد

### ٢. موديول الفوتوفلتية

يعتمد اختيار الموديول على

- قدرة الكشاف الليد
- كفاءة الموديول
- فترة الضمان
- خصائص الموديول من حيث: التغير في درجة الحرارة، تغيير القدرة.

يوضح جدول (١) أمثلة لخصائص بعض الموديولات الفوتوفلتية (أحادي البلورة) المستخدمة في إضاءة الشوارع بالطاقة الشمسية.

جدول (١) أمثلة لخصائص بعض الموديولات الفوتوفلتية (أحادي البلورة) المستخدمة في إضاءة الشوارع بالطاقة الشمسية.

| قدرة الموديول w | ذروة الجهد (V) | ذروة التيار (A) | جهد الدائرة المفتوحة (V) | تيار دائرة القصر(A) | الأبعاد LxWxH (mm) | الوزن Kg |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ١٨٠ | ٣٤,٥٦ | ٥,٢٩ | ٤٢ | ٥,٩٥ | ١٥٨٠*٨٠٨*٥٠ | ١٥ |
| ١٧٠ | ٣٤,٥٦ | ٥,٠٠ | ٤٢ | ٥,٦٢ | | |
| ١٥٥ | ١٧,٢٨ | ٨,٩٦ | ٢١ | ٩,٣٧ | | |
| ١٥٠ | ١٧,٠٠ | ٨,٨٢ | ٢١ | ٩,٣٦ | | |
| ١٤٠ | ١٧,٠٠ | ٨,٢٤ | ٢١ | ٩,٢٥ | ١٤٧٦*٦٧١*٣٥ | ١١,٥ |
| ١٣٠ | ١٧,٠٠ | ٧,٦٥ | ٢١ | ٨,٥٩ | | |
| ١٢٠ | ١٧,٠٠ | ٧,٠٦ | ٢١ | ٧,٩٣ | | |
| ١١٠ | ١٧,٠٠ | ٦,٤٧ | ٢١ | ٧,٢٧ | ١٠٧٦*٨٠٦*٣٥ | ٨,٠٠ |
| ١٠٥ | ١٧,٠٠ | ٦,١٨ | ٢١ | ٦,٩٤ | | |
| ٩٥ | ١٧,٠٠ | ٥,٥٩ | ٢١ | ٦,٢٨ | | |
| ٩٠ | ١٧,٠٠ | ٥,٢٩ | ٢١ | ٥,٩٥ | ١١٩٦*٥٤١*٣٥ | ٧,٨ |
| ٨٥ | ١٧,٠٠ | ٥,٠٠ | ٢١ | ٥,٦٢ | | |
| ٧٠ | ١٧,٠٠ | ٤,١٢ | ٢١ | ٤,٦٣ | ٧٧٠*٦٦٥*٣٥ | ٥ |

### ٣. البطاريات

يجب أن تحدد الخصائص الآتية:

- أقصى عمق تفريغ
- الجهد(فولت)
- السعة (أمبير.ساعة Ah)
- عدد أيام الحفظ

### ٤. متحكم الشحن

يجب مراعاة الآتي:

- أن يكون الشاحن في مكان أقرب مايكون من البطاريات
- يحتوي على وقاية ضد زيادة الشحن/التفريغ

- يحتوي على وقاية ضد زيادة الحمل، وانعكاس القطبية

ويوضح شكل (٤) التوصيلات والقطبية بين مكونات عمود إنارة يعمل بالطاقة الشمسية كذلك يجب مراعاة واختيار الجهود (فولت) الصحيحة المناسبة لمكونات عمود الإنارة، كما يوضح شكل (٥) مثالا لقيم جهود مكونات عمود إنارة يعمل بالطاقة الشمسية.

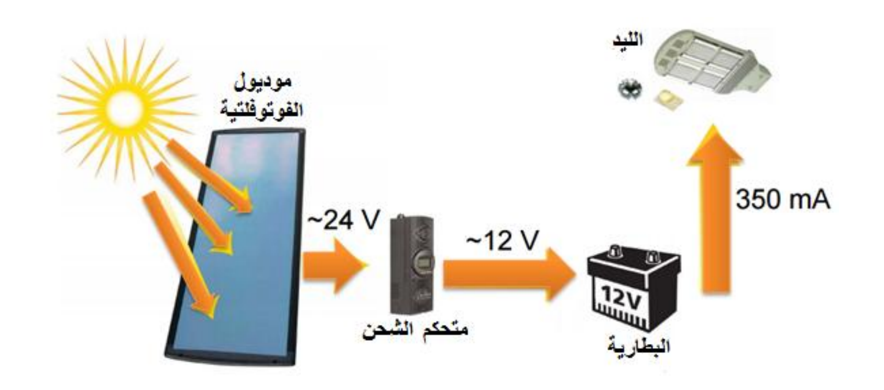
وتوضح الجداول من (٢) إلى (٩) أمثلة متعددة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد، وذلك للاسترشاد بها حيث أنه إلى الآن لم تُحدد قواعد التجربة والاختبار (Rule of thumb) لأعمدة الإنارة التي تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد.

من الجداول السابقة نجد أن:

- قدرة الموديول (الخلية الشمسية) حوالي من ٢:٤ أمثال قدرة الكشاف الليد.
- سعة البطارية (Ah) حوالي من ١،٢:٦ أمثال قدرة الكشاف الليد (لم تُؤخذ الوحدات في الإعتبار).




شكل (٤) التوصيلات والقطبية بين مكونات عمود إنارة يعمل بالطاقة الشمسية




شكل (٥) مثالا لقيم جهود مكونات عمود إنارة يعمل بالطاقة الشمسية

جدول (٢) أمثلة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات ليد

| ارتفاع العمود (M) | قدرة الكشاف الليد (W) | قدرة الموديول الشمسي (Wp) | سعة البطارية (أو البطاريات)(Ah) | الشاحن (A) |
|---|---|---|---|---|
| ٥ | ٣٥ | ٨٠ | ١٥٠ | ١٠ |
| | | ١٢٠ | ١٥٠ | ١٠ |
| | | ١٣٠ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| | | ١٤٠ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| ٦ | ٣٥ | ٩٠ | ١٥٠ | ١٠ |
| | | ١٣٠ | ١٥٠ | ١٠ |
| | | ١٤٠ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| | | ٨٠*٢ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| ٨ | ٥٠ | ١٢٠ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| | | ١٤٠ | ١٠٠*٢ | ١٥ |
| | | ٨٠ *٢ | ٧٥*٣ | ١٥ |
| | | ٩٠*٢ | ١٥٠*٢ | ٢٠ |
| ٩ | ٦٠ | ٨٠*٢ | ٧٥*٣ | ١٥ |
| | | ٩٠ *٢ | ١٥٠*٢ | ٢٠ |
| | | ١٢٠*٢ | ١٥٠*٢ | ٢٠ |
| | | ٢٥٠ | ١٠٠*٤ | ٣٠ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ١٠ | ٩٠ | ١٢٠*٢ | ١٠٠*٤ | ٢٠ |
| | | ١٣٠ *٢ | ١٠٠*٤ | ٣٠ |
| | | ١٤٠*٢ | ١٥٠*٣ | ٣٠ |
| | | ٣٠٠ | ١٥٠*٤ | ٣٠ |
| ١١ | ٩٠ | ١٣٠*٢ | ١٠٠*٤ | ٢٠ |
| | | ١٤٠ *٢ | ١٠٠*٤ | ٣٠ |
| | | ٣٠٠ | ١٥٠*٣ | ٣٠ |
| | | ٢١٠ *٢ | ١٥٠*٤ | ٣٠ |
| ١٢ | ٩٠ | ١٤٠ *٢ | ١٠٠*٤ | ٢٠ |
| | | ٣٠٠ | ١٠٠*٤ | ٣٠ |
| | | ٢١٠*٢ | ١٥٠*٣ | ٣٠ |
| | | ٢٣٠*٢ | ١٥٠*٤ | ٣٠ |

جدول (٣) أمثلة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد

| ارتفاع العمود (m) | الكشاف الليد | | الشاحن | | البطارية | | الخلايا الشمسية |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | القدرة (w) | Lux | (A) | (v) | (Ah) | (v) | |
| ٦ | ٣٠ | ١٥,٢ | ١٠ | ١٢ | ٧٥ | ١٢ | سيليكون أحادي أو متعدد البلورة بقدرات من ٣٠ w وحتى ١٢٠ w |
| ٦ | ٤٠ | ١٨,٦ | ١٠ | ١٢ | ١٠٠ | ١٢ | |
| ٧ | ٥٠ | ١٧,٨ | ١٠ | ٢٤ | ١٣٠ | ٢٤ | |
| ٨ | ٦٠ | ١٥,٩ | ١٠ | ٢٤ | ١٦٠ | ٢٤ | |
| ٨ | ٨٠ | ١٩,٨ | ١٠ | ٢٤ | ٢٠٠ | ٢٤ | |

جدول (٤) أمثلة لقدرات مكونات كشافات ليد تعمل بالطاقة الشمسية

| ارتفاع العمود (m) | الكشاف الليد | | قدرة الموديول الشمسي (العدد x القدرة) (Wp) | سعة البطارية (العدد x السعة) (Ah) |
|---|---|---|---|---|
| | القدرة (w) | الفيض (lm) | | |
| ٤-٥ | ٢٠ | ٢٤٠٠ | ١*٦٠ | ١*٨٠ |
| ٥-٦ | ٣٠ | ٣٦٠٠ | ١*٩٠ | ١*١٠٠ |
| ٦-٧ | ٤٠ | ٤٨٠٠ | ١*١٢٠ | ١*١٢٠ |
| ٦-٧ | ٥٠ | ٦٠٠٠ | ١*١٥٠ | ٢*٩٠ |
| ٧-٨ | ٦٠ | ٧٢٠٠ | ١*١٨٠ | ٢*١٠٠ |
| ٨-١٠ | ٧٠ | ٨٤٠٠ | ٢*١٠٠ | ٢*١٢٠ |
| ٩-١٠ | ٨٠ | ٩٦٠٠ | ٢*١١٠ | ٢*١٢٠ |
| ١٠-١٢ | ٩٠ | ١٠٨٠٠ | ٢*١٢٠ | ٢*١٨٠ |
| ١٠-١٢ | ١٠٠ | ١٢٠٠٠ | ٣*١٤٠ | ٢*٢٢٠ |
| ١١-١٢ | ١١٠ | ١٣٢٠٠ | ٢*١٦٠ | ٢*٢٣٠ |
| ١١-١٣ | ١٢٠ | ١٤٤٠٠ | ٢*١٨٠ | ٢*٢٥٠ |
| ١٢-١٣ | ١٣٠ | ١٥٦٠٠ | ٤*١٠٠ | ٢*٢٦٠ |

جدول (٥) توصيات بعرض الطريق والمسافة بين الأعمدة، للأعمدة بجدول (٤)

| ارتفاع العمود (m) | عرض الطريق (m) | المسافة بين الأعمدة (m) |
|---|---|---|
| ٤-٥ | ٥-٧ | ١٠-١٢ |
| ٥-٦ | ٦-٨ | ١٢-١٥ |
| ٦-٧ | ٨-١٠ | ١٤-١٦ |
| ٦-٧ | ١٠-١١ | ١٦-١٨ |
| ٧-٨ | ١٣-١٤ | ١٧-١٨ |
| ٨-١٠ | ١٤-١٥ | ١٨-٢٠ |
| ٩-١٠ | ١٦-١٨ | ٢٠-٢٤ |
| ١٠-١٢ | ١٨-١٩ | ٢٤-٢٦ |
| ١٠-١٢ | ٢٠-٢١ | ٢٥-٢٧ |
| ١١-١٢ | ٢٢-٢٣ | ٢٨-٣٠ |
| ١١-١٣ | ٢٤-٢٥ | ٣٠-٣٣ |
| ١٢-١٣ | ٢٥-٢٧ | ٣٢-٣٤ |

جدول (٦) أمثلة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد

| قدرة الكشاف الليد (w) | الخلايا الشمسية | | البطارية | |
|---|---|---|---|---|
| | القدرة (w) | الجهد (v) | السعة (Ah) | الجهد (v) |
| ٣٠ | ١٣٠ | ٣٦ | ٥٠ | ١٢*٢ |
| ٦٠ | ٢٦٠ | ٣٦ | ١٠٠ | ١٢*٢ |
| ٧٠ | ٣٩٠ | ٣٦ | ١٥٠ | ١٢*٢ |
| ١٢٠ | ٥٢٠ | ٣٦ | ٢٠٠ | ١٢*٢ |
| ١٥٠ | ٦٥٠ | ٣٦ | ٢٥٠ | ١٢*٢ |

جدول (٧) أمثلة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد

| الفيض | الكشاف الليد | | البطاريات | | الموديول الشمسي | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | القدرة (W) | الجهد (V) | السعة (Ah) | الجهد (V) | القدرة (Wp) | الجهد (V) |
| ٦٠٠٠ Lm | ٥٧ | ١٢ | ١٥٠ | ١٢ | ٢ * ٨٠ | ١٧ |
| | ٥٧ | ١٢ | ٢٠٠ | ١٢ | ٢ * ١٣٠ | ١٧,٥ |
| | ٥٧ | ١٢ | ١٥٠ | ٢٤ | ٢ * ٨٥ | ٣٥ |
| ٤٥٠٠ Lm | ٤٣ | ١٢ | ١٠٠ | ١٢ | ١١٠ | ١٧,٥ |
| | ٤٣ | ١٢ | ١٥٠ | ١٢ | ٢ * ٨٠ | ٧ |
| | ٤٣ | ١٢ | ٢٠٠ | ١٢ | ٢* ١٣٠ | ١٧,٥ |
| ٣٠٠٠ Lm | ٢٩ | ١٢ | ٦٥ | ١٢ | ٩٠ | ١٧,٥ |
| | ٢٩ | ١٢ | ١٠٠ | ١٢ | ٢* ١١٠ | ١٧,٥ |
| | ٢٩ | ١٢ | ١٥٠ | ١٢ | ٢* ٩٠ | ١٧,٥ |
| ١٥٠٠ Lm | ١٤ | ١٢ | ٥٠ | ١٢ | ٥٠ | ١٧ |
| | ١٤ | ١٢ | ٥٠ | ١٢ | ٦٠ | ١٧,٥ |
| | ١٤ | ١٢ | ٦٥ | ١٢ | ٨٠ | ١٧ |

جدول(٨) أمثلة لقدرة مكونات أعمدة إنارة تعمل بالطاقة الشمسية وكشافات الليد

| كشاف الليد | | قدرة الخلية الشمسية (wp) | البطـــارية (Ah) | ارتفاع العمود (m) | المسافة بين الأعمدة (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| القدرة (w) | الفيض (Lm) | | | | |
| ١٠ | ١٣٠٠ | ٢٠ | ١٢ | قابل للضبط من ٦:٣ | في المدى ٢٠:٩ |
| ٢٠ | ٢٦٠٠ | ٤٠ | ٢٤ | | |
| ٣٠ | ٣٩٠٠ | ٦٠ | ٣٦ | | |

جدول (٩) أمثلة لقدرات مكونات كشافات ليد تعمل بالطاقة الشمسية

| الخصائص | قدرة الكشاف الليد | ١٠ وات | ٢٠ وات | ٣٠ وات |
|---|---|---|---|---|
| الخلية الشمسية | أقصى قدرة | ٢٠ وات | ٤٠ وات | ٦٠ وات |
| | عمر التشغيل | ٢٥ سنة | | |
| بطارية ليثيم | السعة | Ah ١٢ | Ah ٢٤ | Ah ٣٦ |
| كشاف الليد | الفيض | Lm ١٣٠٠ | Lm ٢٦٠٠ | Lm ٣٩٠٠ |
| | عمر التشغيل | ٥٠٠٠٠ ساعة | | |
| | زاوية الشعاع | قابلة للضبط بين ٩٠ ، ١٨٠ درجة | | |
| زمن الشحن | من خلال الشمس | ٦ ساعات (اشعاع قوي كافي) | | |
| زمن التفريغ | القدرة الكلية | أكثر من ١٠ ساعات | | |
| | حالة الوفر | أكثر من ٢٤ ساعة | | |
| درجة حرارة العمل | مدى درجة الحرارة | -٣٠ : +٦٠ درجة | | |
| درجة حرارة اللون | المدى (كلفن) | k٤٥٠٠ : k ٦٠٠٠ | | |
| ارتفاع العمود | المدى (م) | m ٦-٣ | | |
| المسافة بين الأعمدة | المدى (م) | m ٢٠-٩ | | |

**وحدة انارة كاملة بالعمود للشوارع تعمل بالطاقة الشمسية**

القدرة : ٥٠ -٦٠ وات

١٢– ٢٤ فولت بالبطارية اللازمة للتشغيل ٢٤ ساعة متواصلة فى حالة غياب الشمس

ارتفاع العمود : ٨ – ١٠ متر

قدرة الكشاف : لا تقل عن ٦٠ وات

الكفاءة الضوئية : لا تقل عن ١٠٠ لومن / وات

جهد المدخل : من ١٢ الى ٣٦ فولت

العمرالافتراضي : لايقل عن ٥٠٠٠٠ ساعة تشغيل للمصدر الضوئي والبطاريات

درجة حرارة اللون: ٥٠٠٠- ٤٠٠٠ كلفن

قدرة الخلية : ١٥٠ وات – الكفاءة لاتقل عن ٥و١٥% الضمان ١٠سنوات

العمر الافتراضي ٢٥ سنة

البطارية : القدرة لاتقل عن ١٢٠ أمبير/ساعة

العمر الافتراضي لاتقل عن ٥٠٠٠٠ ساعة

جهد المخرج طبقا للتصميم ١٢- ٢٤ – ٣٦ فولت

وحدة التحكم : جهد الوحدة ١٢/٢٤ أو ٢٤/٣٦ فولت

تيار الشحن أقل من ١٠ أمبير

وسائل الشحن زيادة الشحن ٧و١٣ فولت

انخفاض الجهد ٥و١٠ – ١١ فولت

يجب ان تكون وحدة التحكم مطلية ومعاملة ضد العوامل الجوية،

ويجب ان تكون مزودة بوسيلة للتحكم في الفصل والتوصيل عند مستوى معين من الاضاءة

# الباب التاسع عشر
# تطبيقات عملية (٢)
## مضخات المياه بإستخدام الطاقة الشمسية
## Water pumps using solar energy

تعد مضخات المياه بالطاقة الشمسية هي المستقبل لضخ المياه للزراعة ومياه الشرب وتنمية الثروة الحيوانية وغيرها وخاصة في المناطق النائية.

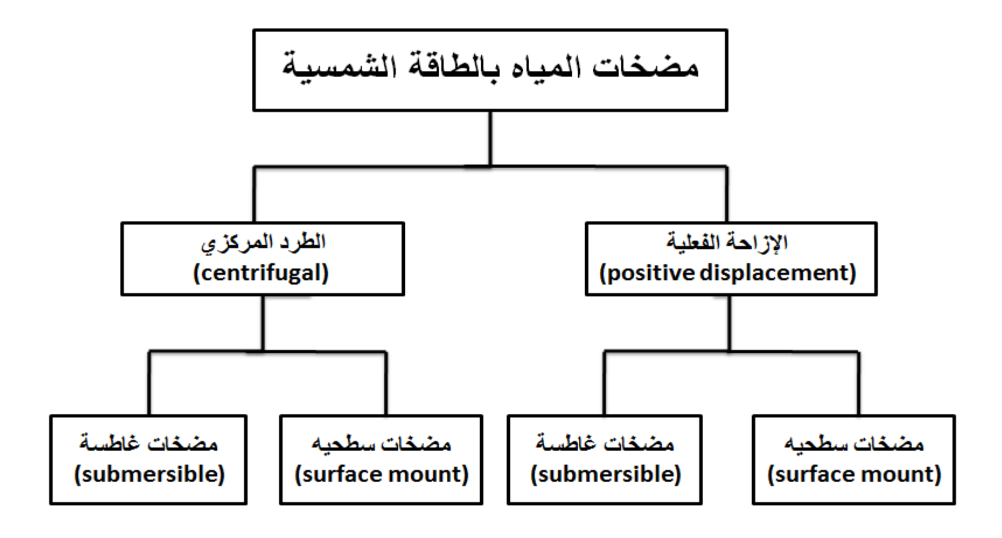
يتكون نظام مضخات المياه بالطاقة الشمسية من :

- ألواح شمسية (مصفوفة PV).
- مجموعة المحرك والمضخة والمسئولان عن تحويل المخرج الكهربي للمصفوفة إلى طاقة هيدروليكية .
- عاكس (في حالة الإحتياج لتيار مستمر).
- الخزان ونظام توزيع المياه إلى نقاط الإستخدام المطلوبة.

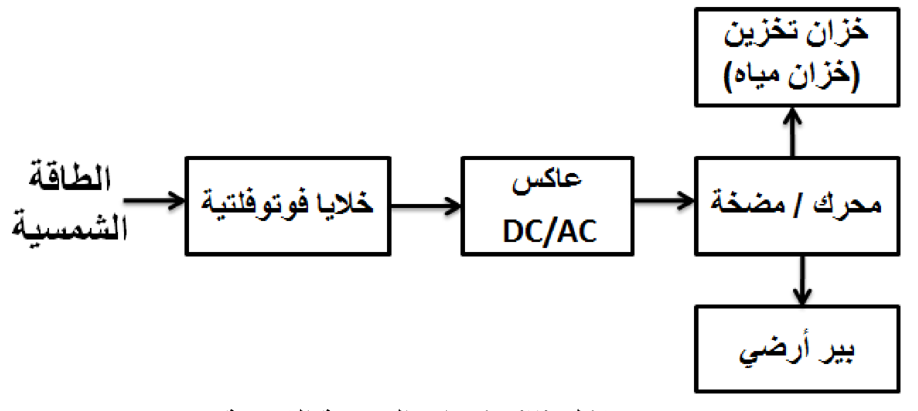
يوضح جدول(١) مميزات وعيوب ضخ المياه بالطاقة الشمسية
ويوضح شكل(١) تصنيف لأنواع مضخات المياه بالطاقة الشمسية
ويوضح شكل (٢) مكونات المضخة الشمسية
جدول (١) مميزات وعيوب ضخ المياه بالطاقة الشمسية

| المميزات | العيوب |
|---|---|
| • لا يحتاج مراقبة<br>• صيانة منخفضة<br>• سهولة التركيبات<br>• عمر تشغيل طويل<br>• موثوقية عالية<br>• لا توجد تكاليف لوقود التشغيل<br>• يمكن أن تكون متنقلة<br>• فترة إسترداد راس المال من ٣:٥ سنوات | • تكاليف أولية مرتفعة<br>• يلزم خزان مياه للأيام الغائمة<br>• تحتاج خبرات فنية عالية<br>• يجب التعرض للشمس بدون ظلال |

|  • صديقة للبيئة<br>• لا يصدر ضوضاء<br>• عند التزويد بنظام تتبع شمسي تزيد كفاءة المضخات بنسبة ٣٠% على الأقل | |
|---|---|




شكل (١) تصنيف لأنواع مضخات المياه بالطاقة الشمسية




شكل (٢) مكونات المضخة الشمسية

يتم إختيار نوع المضخة غاطسة أو سطحية بناء على مصدر المياه المتوافر:

- تستخدم المضخات الغاطسة لضخ المياه من الآبار العميقة.
- تستخدم المضخات السطحية لضخ المياه من الآبار الضحلة ، بعمق ١٠ متر ولا يقل منسوب المياه الثابت فيها عن ٣ أمتار.

يوضح جدول (٢) مقارنة بين مضخات المياه بالطاقة الشمسية ومضخات الديزل

جدول (٢) مقارنة بين مضخات المياه بالطاقة الشمسية ومضخات الديزل

| البند | المضخات الشمسية | المضخات الديزل |
| --- | --- | --- |
| الإستهلاك اليومي للوقود الملوث للبيئة | -------- | مرتفع جدا |
| تكاليف التشغيل | -------- | مرتفعة جدا |
| الصيانة الدورية وقطع الغيار | --------- | مرتفعة |
| ضمان الأداء | عدد كبير من السنوات | --------- |
| ضمان ضد عيوب الصناعة للنظام (سنوات) | عدد من السنوات | ---------- |
| عمر تشغيل النظام (سنوات) | عدد كبير من السنوات | عدد قليل جدا |
| التلوث نتيجة التشغيل | ---------- | كبير جدا |
| الضوضاء نتيجة التشغيل | --------- | عالية جدا |

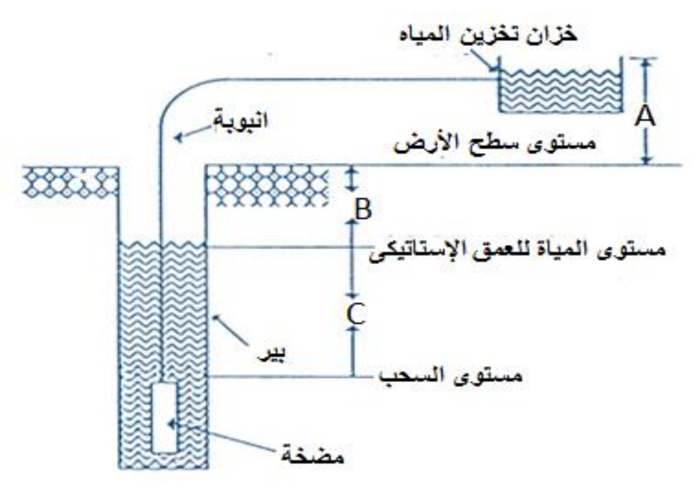
**من التطبيقات الشائعة :**

١- استخدام المضخات الغاطسة لرفع المياه من الآبار الجوفية بغرض الري بالرش أو التنقيط.

٢- استخدام المضخات الغاطسة أو السطحية لرفع المياه من القنوات بالغمر أو لتطبيقات أخرى.

٣- استخدام المضخات السطحية في تقليب المياه لتنقية حمامات السباحة.

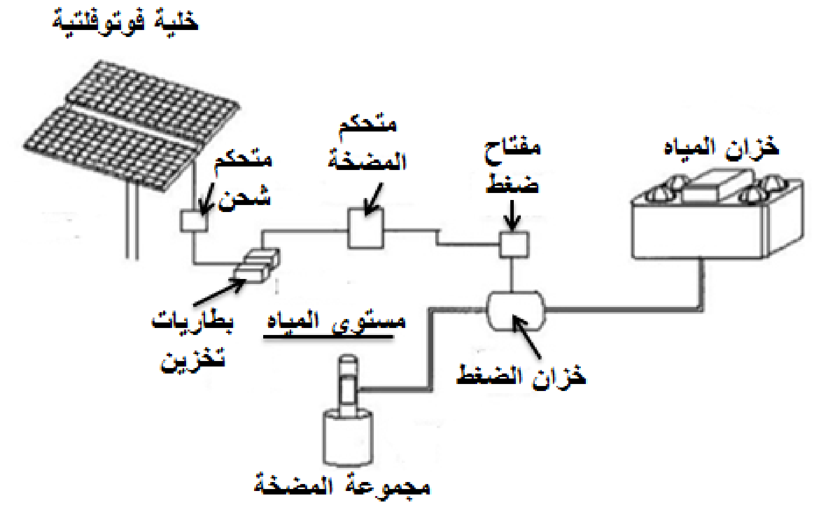
٤- رفع المياه من الآبار بالمناطق النائية للشرب ولأغراض أخرى.
يوضح شكل (٣) التعريفات الشائعة المستخدمة لمضخات المياه وفى هذا الشكل نجد ان :
العمق الإستاتيكى الكلى = (A + B)
العمق الديناميكى الكلى = ( الإحتكاك مع الأنبوبة + A+ B + C )
يمكن أن يعمل نظام ضخ المياه إما بالتيار المستمر المأخوذ مباشرة من الخلايا الشمسية أو يعمل النظام بالتيار المتردد وذلك بإضافة عاكس لتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد ، ويمكن أن يحتوى النظام على بطاريات وشاحن أو يكون بدون . يوضح شكل (٤) مضخة تيار مستمر تعمل ليلا من خلال البطارية . ويوضح شكل (٥) نظام مجموعة مضخة مياه شمسية مع مجموعة بطاريات.




شكل (٣) التعريفات الشائعة المستخدمة لمضخات المياه



شكل (٤) مضخة تيار مستمر تعمل ليلا من خلال البطارية




شكل (٥) نظام مجموعة مضخة مياه شمسية مع مجموعة بطاريات

يوضح شكل (٦) مضخة مسطحة تعمل بالطاقة الشمسية لرفع المياه من قناة.

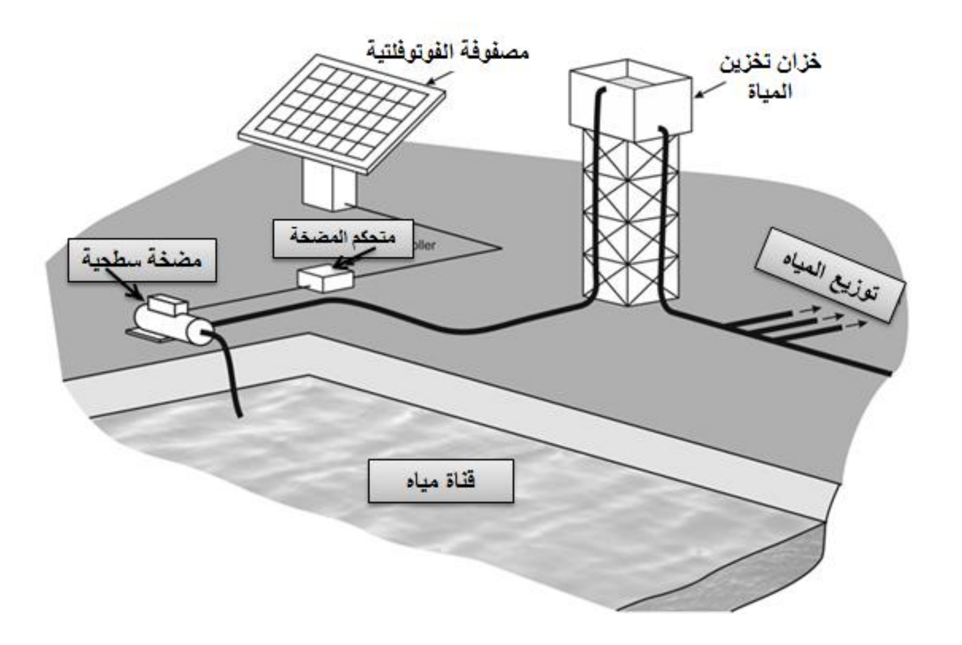
ويوضح شكل (٧) مضخة غاطسة تعمل بالطاقة الشمسية لرفع المياه من بير.

ويوضح شكل (٨) مضخة غاطسة تعمل بالطاقة الشمسية - بالتيار المتردد – ومرتبطة بالشبكة العامة وذلك لرفع المياه من بير.

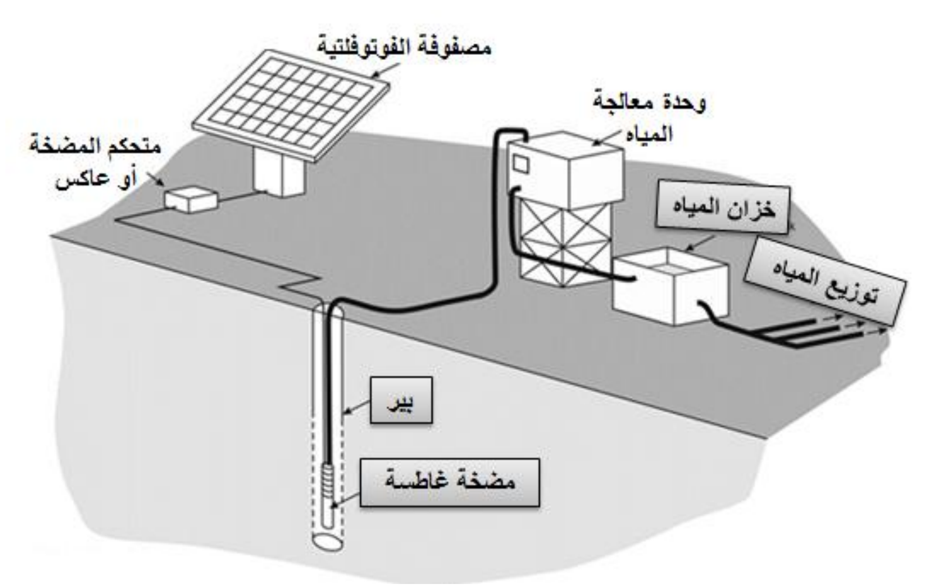
بينما يوضح شكل (٩) نظام ضخ فوتوفلتية باستخدام مضخة غاطسة ومحرك سطحى.

ويوضح شكل (١٠) المكونات الكاملة لنظام مضخة تعمل بالطاقة الشمسية وبدون بطاريات.

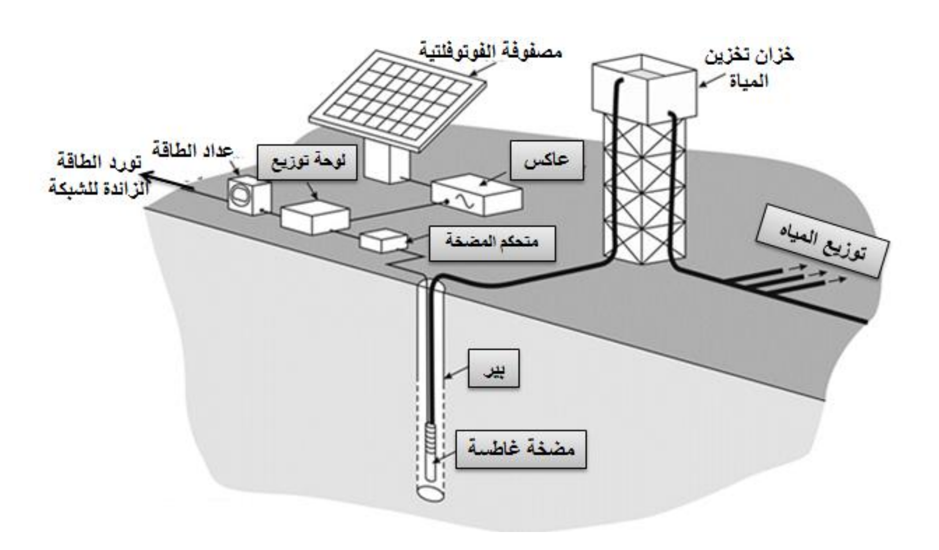
ويوضح شكل (١١) الصورة الفعلية لمضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية.



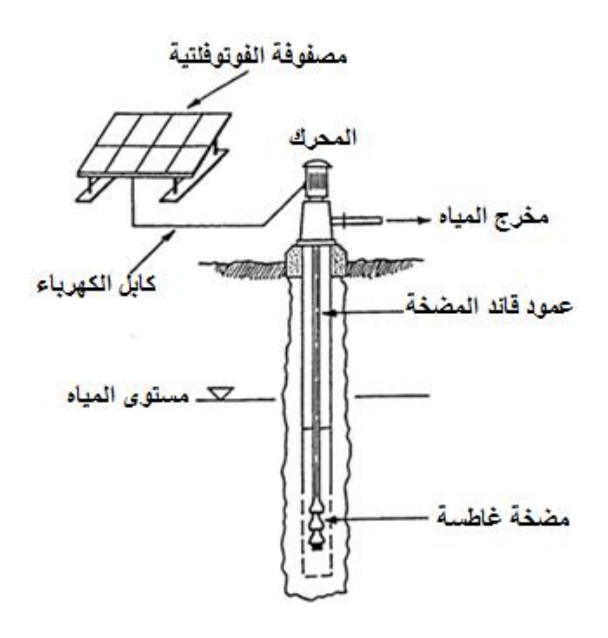

شكل (٦) مضخة مسطحة تعمل بالطاقة الشمسية لرفع المياه من قناة



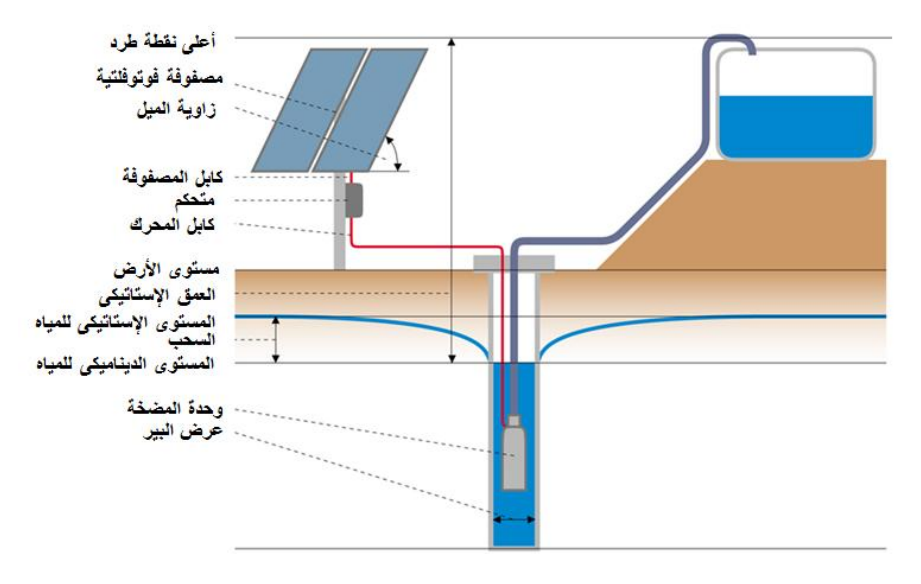

شكل (٧) مضخة غاطسة تعمل بالطاقة الشمسية لرفع المياه من بير




شكل (٨) مضخة غاطسة تعمل بالطاقة الشمسية - بالتيار المتردد – ومرتبطة بالشبكة العامة وذلك لرفع المياه من بير




شكل (٩) نظام ضخ فوتوفلتية باستخدام مضخة غاطسة ومحرك سطحى




شكل (١٠) المكونات الكاملة لنظام مضخة تعمل بالطاقة الشمسية وبدون بطاريات




شكل (١١) الصورة الفعلية لمضخة مياه تعمل بالطاقة الشمسية

**<u>تحديد قدرة الخلية الفوتوفلتية</u>**

يعتمد تحديد قدرة الخلية على العوامل الآتية:

- حجم الطلب على المياه.
- معدلات الإشعاع الشمسي.
- الكفاءة الكلية لتشغيل النظام.
- عمق تركيب المضخة (العمق الإستاتيكي والعمق الديناميكي).

وتحسب الطاقة الهيدروليكية المطلوبة (ك.و.ساعة/ اليوم) اللازمة لرفع حجم محدد من المياه وعلى إرتفاع محدد ، من المعادلة :

$$W = \rho .\ g.\ V.H / (3.6\times10^{6})$$
$$= 0.002725\ V.H$$

حيث

W = الطاقة الهيدروليكية المطلوبة (ك.و.ساعة/ اليوم)

ρ = الكتلة النوعية للمياه (كجم/م$^3$) specific mass of water

g = الجاذبية الأرضية (م/ث$^3$) gravity

V = حجم المياه المرفوعة (م$^3$/اليوم)

H = إرتفاع البير (م)

ونحصل على الطاقة الكهربائية اليومية الناتجة من مولد الفوتوفلتية من المعادلة

$$W_{pv} = W / (\eta_{inv} * \eta_{mp})$$

حيث

$\eta_{inv}$ = كفاءة العاكس (تفرض ٩٠%)

$\eta_{mp}$ = كفاءة مجموع المضخة والمحرك الكهربي (تفرض ٣٠%)

ونظرا لتعرض مولد الفوتوفلتية لدرجات الحرارة العالية ،والأتربة ، وتغير شدة الإشعاع الشمسي ، مع الأخذ في الإعتبار مفقودات التوصيلات ، لذا يضاف عامل أمان يتراوح بين ٢٠% : ٤٠% .

وتحسب مساحة سطح الألواح الفوتوفلتية من المعادلة:

$$A_{pv} = \frac{W_{pv}}{G.\eta_{pv}.\eta} = \frac{W}{G.\eta_{pv}.\eta.\eta_{inv}.\eta_{mp}}$$

حيث

$A_{pv}$ =مساحة سطح الألواح (م²)

G = الإشعاع الشمسي الساقط في اليوم (ك.و.س/م².اليوم)

$\eta_{pv}$ = كفاءة الألواح الفوتوفلتية

$\eta$ = عامل عدم تماثل الألواح الشمسية

# الباب العشرون
# أمثلة لمحطات طاقة شمسية فى مصر
# Examples of solar power plants in Egypt

## (١) محطة طاقة شمسية لإنتاج الكهرباء بمدينة السادات

١١ أغسطس ٢٠١٥

قدرة ٦٥ كيلو وات ، عدد ٢٦٤ خلية شمسية قدرة الخلية ٢٥٠ وات (منشأ أوروبي ).

و تنقسم القدرة الكلية إلى:

- ٥٨ كيلو وات متصلة بالشبكة ، ويتم تغذية الأحمال بها مباشرة في الحالة الطبيعية ومتصلين بعدد ٣عاكس ذو قدرة ٢٠ كيلو وات
- ٧ كيلو وات منفصلة عن الشبكة (off grid) وعاكس قدرة ٧ كيلو وات،
بالاضافة الى منظم جهد يُستخدم في تغذية البطاريات، وذلك لتغذية الأحمال في حالات الطوارئ.





## (٢) إنارة طريق طيبة

قنا الصحراوى الشرقى، بطول ٤ كيلو مترات، كأول طريق في مصر يعمل بنظام محطات الطاقة الشمسية المركزية، بجانب تشغيل محطة الطاقة الشمسية بمدينة طيبة الجديدة، بقدرة ٩٠ كيلو وات.





## (٣) محطة شعب الإمارات للطاقة الشمسية

.تقع المحطة بمنطقة سيوة المصرية وتمت الانشاءات بإشراف شركة مصدر الإماراتية وتم ربط المحطة بالشبكة المحلية التي تستخدم تقنية الألواح الشمسية الكهروضوئية (فيلم رفيع) وتصل قدرتها الإنتاجية إلى ١٠ ميجاوات وتنتج المحطة نحو ١٧،٥٥١ ميجاوات/ ساعة سنوياً.

وتكفي المحطة لسد عجز الكهرباء في منطقة سيوة، بالإضافة إلى تلبية احتياجات أكثر من ٦ آلاف منزل ومنشأة عامة.

وتساهم المحطة في توفير استهلاك نحو ٥ ملايين لتر من الديزل سنوياً وتفادي انبعاث نحو ١٤ ألف طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً.

وتعتبر محطة شعب الإمارات إحدى محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية التي تم بناؤها ضمن المشروع الإماراتي للطاقة المتجددة والذي سيزود أكثر من ٥٠ ألف وحدة سكنية في ٧٠ قرية نائية بالكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة ويوازي ذلك ١٣% من إجمالي المباني التي لا ترتبط بشبكة الكهرباء الرئيسية.


sky NEWS عربية
محطة سيوة للطاقة الشمسية
الطاقة الإنتاجية 10ميغاواط
محطة شعب الإمارات
للطاقة الشمسية
SKY NEWS SCREEN GRAB


محطة توليد الطاقة الشمسية بسيوة
شركة البحيرة لتوزيع الكهرباء
٣

## (٤) محطة فوتوفلتية بالغرفة التجارية المصرية

أنشئت بمدينة الاسكندرية فى مايو ٢٠١٦ :

- ❖ القدرة : ١٣,٧ كيلووات (قصوى)
- ❖ خلايا سيليكون متعدد البلورة ملون ( ذهبى مخضر )
- ❖ عدد ٥٦ موديول ( قدرة الموديول :٢٤٥ وات )
- ❖ عدد ٣ عاكس ( قدرة العاكس ٥ كيلووات )
- ❖ الطاقة المنتجة ١٩٨١٣ ك.و.س / سنويا
- ❖ الطاقة المنتجة لكل ك.و ١٤٤٤ ك.و.س / ك.و
- ❖ الانخفاض فى انبعاثات ثانى اكسيد الكربون ١١ طن $CO_2$



**(٥) <u>محطة خلايا شمسية أعلى</u>**

**<u>سطـــح مبنـــى الشـــركة القابضـــة لكهرباء مصر العباسيـــة</u>**

قدرة (٢×٤٠) ك.وات



**(٦)** **<u>محطة طاقة شمسية ٦٠٠ ك.و</u>**

**<u>طريق القاهرة / السويس</u>**

- القدرة القصوى ٦٠٠ ك.و مقسمة الى : ٥٠٠ ك.و موديولات فوتوفلتية ثابتة + ١٠٠ ك.و موديولات فوتوفلتية متحركة ( تتبع الشمس )
- مربوطة على الجهد المتوسط (١١ ك.ف) من خلال محولات رفع بمحطة محولات صقر قريش



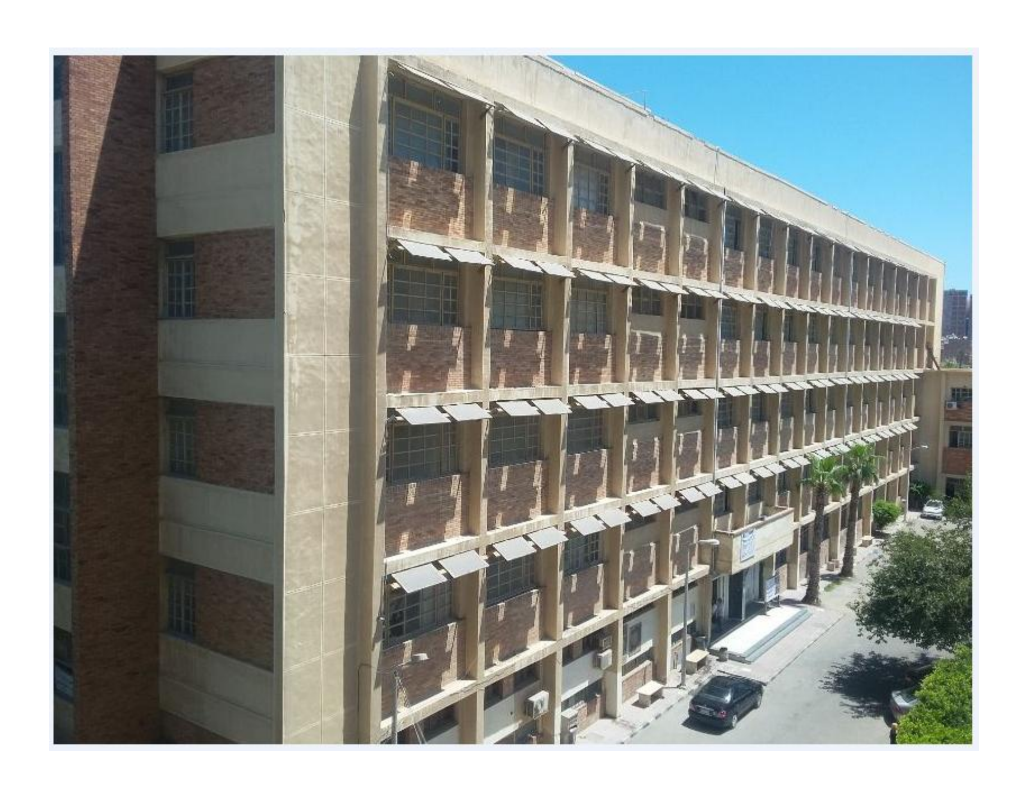
**١٠٠ ك.و موديولات فوتوفلتية متحركة**



**٥٠٠ ك.و موديولات فوتوفلتية ثابتة**

## (٧) **كلية العلوم بالشاطبى – الاسكندرية**

- قدرة قصوى ١٧,٢٨ ك.و
- عدد ١٢٠ موديول شبة شفاف ( نسبة الشفافية ١٦ %)
- الموديولات مركبة على حوامل خاصة بنظام التظليل الشمسى على عدد ٦٠ شباك بمبنى الكلية
- الطاقة الكهربائية المتوقع انتاجها ٢٦,٣٥ م.و.س سنويا
- المشروع ممول من الاتحاد الأوربى



## (٨) **كلية العلوم بمحرم بك – الاسكندرية**

- القدرة القصوى ١٢,١٨ ك.و
- عبارة عن مظلتين شمسيتين إحدهما بحديقة الكلية والأخرى أعلى سطح مبنى الإدارة
- الطاقة الكهربائية المتوقع انتاجها ٢٣,٢٧ م.و.س سنويا
- المشروع ممول من الاتحاد الأوربى



**مظلة شمسية بحديقة الكلية**



**مظلة شمسية بأعلى سطح مبنى الإدارة**

# ملحق

## المواصفات القياسية العالمية للمحطات الفوتوفلتية


[1] IEC 60364-44 low voltage electrical insulations – Part 44 Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances.

[2] IEC 60898-2 Circuit-breakers for overcurrent protection for household and similar installations - Part 2: Circuit-breakers for A.C. and D.C. operation

[3] IEC 60904-1 Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics.

[4] IEC 60904-2 Photovoltaic devices - Part 2: Requirements for reference solar devices.

[5] IEC 60904-8 Photovoltaic devices - Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device.

[6] IEC 60947-2 Low-voltage switchgear and control gear - Part 2: Circuit-breakers.

[7] IEC 61215 Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules- Design qualification and type approval.

[8] IEC 61277 Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems - General and guide.

[9] IEC 61439 Low Voltage Switchgear and Control gear Assemblies.

[10] IEC 61683 Photovoltaic systems - Power conditioners-

Procedure for measuring efficiency.

[11] IEC 61721 Susceptibility of a photovoltaic (PV) module to accidental impact damage (resistance to impact test)

[12] IEC 61724 Photovoltaic system performance monitoring- Guidelines for measurement, data exchange and analysis.

[13] IEC 61727 Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface.

[14] IEC 61829 Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - Onsite measurement of I-V characteristics.

[15] IEC 62093 Balance-of-system components for photovoltaic systems - Design qualification natural environments

[16] IEC 62109-1 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part .1; General requirements.

[17] IEC 62109-2 Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters.

[18] IEC 62446 Grid connected photovoltaic systems - Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection.

[19] IEC 62548 Design requirements for photovoltaic (PV) arrays

[20] IEC 61730-1 photovoltaic module safety qualification Part 1 requirements for construction

[21] IEEE 928 Recommended criteria for terrestrial PV power systems.

[22] IEEE 1374 Guide for terrestrial PV power system safety.

[23] IEEE 1547 Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems.

[24] NEMAAB-1 Molded Case Circuit Breakers and Molded Case
Switches.

[25] ASTM E1036 Standard Test Methods for Electrical Performance
of Non-concentrator Terrestrial Photovoltaic
Modules and Arrays Using Reference Cells.

[26] ASTM E1171 Test Methods for Photovoltaic Modules in Cyclic
Temperature and Humidity Environments

[27] ASTME 1799 Standard Practice for Visual Inspections of Photovoltaic Modules.

[28] ASTM E 1802 Standard Test Methods for Wet Insulation Integrity
Testing of Photovoltaic Modules.

[29] ASTM E 1830 Standard Test Methods for Determining Mechanical Integrity of Photovoltaic Modules.

[30] ASTM E 2047 Standard Test Method for Wet Insulation Integrity
Testing of Photovoltaic Arrays.

[31] NFPA 70 Instrument Inverters, Converters, Controllers and
Interconnection System Equipment for Use with

Distributed Energy Resources.

[32] UL 1741 Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels.

[33] UL 1703 National Electrical Code.

[34] DIN EN 60891(VDE 0126-6):2010-10
Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices

[35] DIN EN 60904-1(VDE 0126-4-1):2007-07
Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics (IEC 60904-1:2006); German version EN 60904-1:2006

[36] DIN EN 60904-2 (VDE 0126-4-2):2008-02
Photovoltaic devices - Part 2: Requirements for reference solar devices (IEC 60904-2:2007); German version EN 60904-2:2007

[37] DIN EN 60904-3(VDE 0126-4-3):2009-02
Photovoltaic devices - Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data (IEC 60904-3:2008); German version EN 60904-3:2008

[38] DIN EN 60904-4 (VDE 0126-4-4):2010-06
Photovoltaic devices - Part 4: Reference solar devices - Procedures for establishing calibration traceability (IEC 60904-4:2009); German version EN 60904-4:2009

[39] DIN EN 60904-5 (VDE 0126-4-5):2011-10
Photovoltaic devices – Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method (IEC 60904-5:1993); German version EN 60604-5:1995 DIN EN 60904-7

[40] (VDE 0126-4-7):2009-12
Photovoltaic devices – Part 7: Computation of spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic device (IEC 60904-7:2008); German version EN 60904-7:2009

[41] DIN EN 60904-8:1998-11 Photovoltaic devices – Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device (IEC 60904-8:1998); German version EN 60904-8:1998

[42] DIN EN 60904-9 (VDE 0126-4-9):2008-07
Photovoltaic devices - Part 9: Solar simulator performance requirements (IEC 60904-9:2007);
German version EN 60904-9:2007

[43] DIN EN 60904-10 (VDE 0126-4-10):2010-10
Photovoltaic devices – Part 10: Methods of linearity measurement (IEC 60904-10:1998); German version EN 60904-10:1998

[44] DIN EN 61829:1999-02 Crystalline silicon photovoltaic (PV) array - On-site measurement of I-V characteristics (IEC 61829:1995); German version EN 61829:1998

[45] DIN EN 50380:2003-09 Datasheet and nameplate information for photovoltaic modules; German version EN 50380:2003

[46] DIN EN 50461 (VDE 0126-17-1):2007-03
Solar cells - Datasheet information and product data for crystalline silicon solar cells; German version EN 50461:2006

[47] DIN EN 50513 (VDE 0126-18):2009-12
Solar Wafers – Data sheet and product information for crystalline silicon wafers for solar cell

Manufacturing
[48] DIN EN 61215 (VDE 0126-31):2006-02
Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
(IEC 61215:2005); German version EN 61215:2005

[49] DIN EN 61345:1998-11 UV test of photovoltaic (PV) modules (IEC 61345:1998); German version EN 61345:1998

[50] DIN EN 61646 (VDE 0126-32):2009-03
Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval
(IEC 61646:1996); German version EN 61646:1997

[51] DIN EN 61701:2000-08 Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules (IEC 61701:1995); German version EN 61701:1999

[52] DIN EN 61725:1998-03 Analytical expression for daily solar profiles (IEC 61725:1997); German version EN 61725:1997

[53] DIN EN 61730-1 (VDE 0126-30-1):2007-10
Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction (IEC 61730-1:2004, modified); German version EN 61730-1:2007

[54] DIN EN 61730-2 (VDE 0126-30-2):2007-10
Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing (IEC 61730-2:2004,modified); German version EN 61730-2:2007

[55] DIN EN 61853-1 (VDE 0126-34-1): 2011-12
Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating - Part 1: Irradiance and temperature performance measurements and power rating (IEC 61853-1:2011); German version EN 61853-1:2011

[56] DIN EN 62108 (VDE 0126-33):2008-07
Concentrator photovoltaic (CPV) modules and assemblies - Design qualification and type approval (IEC 62108:2007); German version EN 62108:2008

[57] DIN EN 50524 (VDE 0126-13):2010-04
Data sheet and name plate for photovoltaic inverters; German version EN 50524:2009

[58] DIN EN 50530 (VDE 0126-12):2011
Overall efficiency of grid connected photovoltaic inverters; German version EN 50530:2010

[59] DIN EN 61683:2000-08 Photovoltaic systems - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency (IEC 61683:1999); German version EN 61683:2000

[60] DIN EN 61727:1996-12 Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface (IEC 61727:1995); German version EN 61727:1995

[61] DIN EN 62109-1 (VDE 0126-14-1:2012-04
Safety of power converters for use in photovoltaic power systems – Part 1: General requirements
(IEC 62109-1:2010); German version EN 62109-1:2010

[62] DIN EN 62109-2 (VDE 0126-14-2): 2012-04
Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters (IEC 62109-2:2011); German version EN 62109-2:2011

[63] DIN EN 62116 (VDE 0126-2): 2012-01
Test procedure of islanding prevention measures for utility- interconnected photovoltaic inverters (IEC 62116:2008, modified); German version EN 62116:2011

[64] DIN V VDE V 0126-1-1 (VDE V 0126-1-1):2006-02 + A1: 2010-02
Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid

[65] DIN EN 50521 (VDE 0126-3):2009-10
Connectors for photovoltaic systems – Safety; German version EN 50521:2008

[66] DIN EN 61427:2006-03 Secondary cells and batteries for solar photovoltaic energy systems – General requirements and methods of test (IEC 61427:2005); German Version EN 61427:2005

[67] DIN EN 50548 (VDE 0126-5): 2012-02
Junction boxes for photovoltaic modules

[68] DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12):2010-09
Low-voltage surge protective devices - Surge protective devices for specific application including d.c. - Part 12: Selection and application principles - SPDs connected to photovoltaic installations; German version CLC/TS 50539-12:2010

[69] VDE-AR-E-2283-4: 2011-10 Requirements for cables for PV systems

[70] DIN EN 61173:1996-10 Overvoltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems - Guide (IEC 61173:1992); German version EN 61173:1994

[71] DIN EN 61724:1999-04 Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis (IEC 61724:1998); German version EN 61724:1998

[72] DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06
Electrical installations of buildings – Part 712: Requirements for special installations or locations – Solar

photovoltaic (PV) power supply systems (IEC 60364-7-712:2002 modified); German version HD 60364-7-712:2005 + Corr.:2006

[73] DIN EN 62093 (VDE 0126- 20):2005-12
Balance-of-system components for photovoltaic systems – Design qualification natural environments (IEC 62093:2005); German version EN 62093:2005

[74] DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 5):2009-10 Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structures and life hazard - Supplement 5: Lightning and overvoltage protection for photovoltaic power supply systems

[75] DIN EN 62446 (VDE 0126- 23):2010-07
Grid connected photovoltaic systems - Minimum requirements for system documentation, commissioning tests and inspection (IEC 62446:2009); German version EN 62446:2009

[76] DIN CLC/TS 61836 (VDE V 0126-7):2010-04
Solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions and symbols (IEC/TS 61836:2007); German version CLC/TS 61836:2009

[77] DIN EN 61702:2000-08 Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems (IEC 61702:1995); German version EN 61702:1999

[78] DIN EN 61194:1996-12 Characteristic parameters of stand-alone photovoltaic (PV) systems (IEC 61194:1992, modified); German version EN 61194:1995

[79] DIN EN 62124 (VDE 0126-20-1):2005-10
Photovoltaic (PV) stand-alone systems - Design verification (IEC 62124:2004); German version EN 62124:2005

[80] DIN EN 62509 (VDE 0126-15): 2012-03

Battery charge controllers for photovoltaic systems - Performance and functioning (IEC 62509:2010); German version EN 62509:2011

[81] DIN EN 62253 (VDE 0126-50):2012-05
Photovoltaic pumping systems - Design qualification and performance measurements (IEC 62253:2011); German version EN 62253:2011

[82] E DIN IEC 61701 (VDE 0126-8): 2010-02
Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules (IEC 82/576/CD:2009)

[83] E DIN EN 61730-1/A1 (VDE 0126-30-1/A1): 2009-11
Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction (IEC 82/568/CDV:2009); German version EN 61730-1:2007/FprA1:2009

[84] E DIN EN 61730-2/A1 (VDE 0126-30-2/A1): 2009-11
Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing (IEC 82/569/CDV:2009); German version EN 61730-2:2007/FprA1:2009

[85] E DIN EN 61853-2 (VDE 0126-34-2): 2010-11
Photovoltaic (PV) module performance testing and energy rating - Part 2: Spectral response, incidence angle and module operating temperature measurements (IEC 82/606/CDV:2010); German version FprEN 61853-2:2010

[86] E DIN IEC 62548 (VDE 0126-42):2010-07
Installation and safety requirements for photovoltaic (PV) generators

[87] E DIN EN 62670 (VDE 0126-35-1): 2001-07
Concentrator photovoltaic (CPV) module and assembly performance testing and energy rating - Part 1: Performance measurements and power rating - Irradiance and temperature (IEC 82/630/CD:2011)

[88] E DIN EN 62670-2 (VDE 0126-35-2): 2012-04
Concentrator photovoltaic (CPV) module and assembly performance testing and energy rating - Part 2: Energy rating by measurement (IEC 82/679/CD:2011)

[89] E DIN EN 62688 (VDE 0126-36): 2011-10
Concentrator photovoltaic (CPV) module and assembly safety qualification (IEC 82/631/CD:2011)

[90] E DIN EN 62716 (VDE 0126-39):2011-10
Ammonia corrosion testing of photovoltaic (PV) modules (IEC 82/650/CD:2011)

[91] E DIN VDE 0126-1-1 (VDE 0126-1-1): 2012-08
Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid

[92] E DIN VDE 0126-21 (VDE 0126-21): 2007-07
Photovoltaic in building

[93] E DIN VDE 0126-34(VDE 0126-34): 2011-01
Concentrator Photovoltaic (CPV) Module, array and assembly: Energy rating by measurement (IEC 82/609/NP:2010)

[94] E DIN VDE 0126-60 (VDE 0126-60): 2012-05
Specification for solar trackers used for photovoltaic systems (IEC 82/651/DTS:2011)

# References:


[1] Photovoltaic (PV), Best Practice Guide
Seai, DTI/Pub URN 06/1972

[2] PV Performance Assessment of Existing System using SAM
SolarTech and San Jose State University

[3] Solar Electric System Design, Operation and Installation
An overview for builders in the U.S. Pacific Northwest
October 2009

[4] Solar Energy and Solar Radiation
IDES-EDU
Intelligent Energy Europe

[5] Technical Handbook
The installation of ground photovoltaic plants over marginal areas PVs in bloom
Intelligent Energy Europe

[6] Global Trends in Renewable Energy Investment, 2016
UNEP, Bloomberg

[7] Philips
Simply enhancing life with sunlight at night
Philips Solar Lighting Solutions

[8] Off grid PV power systems
System design guidelines
SEIAPI, September 2012

[9] The Drivers of the levelized cost of Electricity for Utility, Scale PVs
Sun Power, by Matt Cambell 2008

[10] Photovoltaic Systems
Miro Zeman

Delft University of Technology
[11] Economic Analysis of Solar Power: Achieving Grid Parity
Annie Hazlehurst
Joint MBA/MS Environment & Resources Candidate
Stanford Graduate school of Business
[12] Solar Power 101
A Practical Guide to Solar Power System Design for Homeowners version 08.08.12
[13] Basic Photovoltaic Principle and Methods
February 1982, SERI/SP-290-1448
[14] Planning and Installing Photovoltaic Systems
A guide for Installers, Architects and Engineers
DGS-Deutsche Gesellschaft Für Sonnenenergie
[15] Study guide for photovoltaic system installers and sample examination questions, NABCEP
[16] Connecting and operating storage units in low voltage networks VDE – June 2013
[17] Solar fundamentals, volume 1: Technology, SEPA Becky Campbell, Daisy Chung
[18] http://www.arabsolarenergy.com/2014/12/blog-post_10.html
[19] http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc
[20] http://www.olino.org/us/articles/2006/06/29/1500-watt-with-solar-panels
[21] http://www.wiredpakistan.com/topic/21823-flat-plate-versus-tubular-battery
[22] http://www.alibaba.com/product-detail/12v-7ah-rechargeable-batteries-long-life_60125445186.html
[23] http://www.electrobrahim.com/2015/06/blog-post_8.html
[24] http://ommasoul.blogspot.com.eg

[25] IEC 60512 – 3
[26] http://www.solarnipaneli.org/2010/09/standardi-incidentnog-solarnog-zracenja/
[27] http://www.intechopen.com/books/optoelectronics-advanced-materials-and-devices/iii-v-multi-junction-solar-cells
[28] http://kenanaonline.com/users/newsourceforfeeding/topics/64853/posts/121664
[29] http://www.backwoodshome.com/grid-tied-grid-connected-off-grid-whats-the-difference/
[30] http://www.backwoodssolar.com/a-simplified-explanation
[31] http://www.kps-soluciones.es/descargas/Hensel/05_enysun_en.pdf
[32] http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Off-grid_Renewable_Systems_WP_2015.pdf
[33] https://ar.wikipedia.org
[34] http://www.sitealgerie.com/t10307-topic
[35] https://en.wikipedia.org/wiki/Erg
[36] http://www.esru.strath.ac.uk/Courseware/Solar_energy
[37] http://www.f20.us/uploads/About%20Batteries.pdf
[38] http://arabic.alibaba.com/product-gs/nickel-cadmium-ni-cd-medium-high-rate-storage-batteries-kpm270-1-2v-270ah-for-ups-uninterruptable-power-supply-and-lighting-60182985078.html
[39] http://caravanchronicles.com/guides/understanding-cable-and-cable-sizes
[40] http://www.thesolarplanner.com/steps_page2.html
[41] http://www.thesolarplanner.com/steps_page5b.html

[42] http://www.kznenergy.org.za/local-pioneer-grid-solar-pv-confirms-residential-market-trends
[43] http://www.renewableenergyfocus.com/view/19395/sunshot-solar-pvs-falling-costs
[44] http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_modules.ph
[45] https://en.wikipedia.org/wiki/Cost_of_electricity_by_source#/media/File:EU-PV-LCOE-Projection.png
[46] http://www.elecdirect.com/solar-products
[47] https://www.civicsolar.com/resource/mounting-grounding-lugs-and-grounding-clips
[48] http://www.alibaba.com/product-detail/pv-solar-panel-grounding-system-grounding_1571253542.html
[49] http://www.soldist.com/products/accessories/wiley
[50] http://pvshop.eu/installer/http://www.czxinzheng.com/en/content/?354.html
[51] http://www.matrixenergy.ca/stand-alone-systems/renewable-power-products-mounts.html
[52] http://www.thesolarplanner.com/steps_page9.html
[53] https://www.civicsolar.com/resource/why-should-i-use-grounding-weeb-solar-applications
[54] http://www.thesolarplanner.com/worksheets/Instructions_Excel_Worksheets.pdf
[55] http://www.homepower.com/typical-grid-tied-inverter-spec-sheet-data
[56] http://www.arabsolarenergy.com/2015/10/solar-water-heaters.html
[57] http://fabrica-tech.blogspot.com.eg/2013/09/blog-post.html
[58] http://www.arabsolarenergy.com/2015/08/solar-air-heating.html

[59] http://www.pluginindia.com/blogs/solar-panels-pumping-life-back-into-india
[60] http://solareng.org/solar-water-pumps
[61] http://www.sankey-diagrams.com/tag/solar
[62] http://www.solar-repository.sg/solar-basics
[63] http://www.academia.edu/9005661/CALCULATIONS_OF_SOLAR_ENERGY_OUTPUT
[64] http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php
[65] http://www.hydratelife.org/?p=2009
[66] http://suntotalneo.en.ec21.com/storefront/High_Power_DC_Submersible_Solar--8960729_8960740.htm
[67] http://agriwaterpedia.info/wiki/Solar_Powered_Water_Pumps
[68] https://www.engineering.unsw.edu.au/energy-engineering/apv-applied-pv-online-course-syllabus
[69] http://www.groundwatereng.com/blog/2014/03/introduction-to-solar-water-pumping
[70] http://solareng.org/solar-water-pumps
[71] http://www.pluginindia.com/blogs/solar-panels-pumping-life-back-into-india
[72] http://szztledlight.asia/product-2-solar-led-street-light-system/144411
[73] http://era-solar.com
[74] http://yasseretscontrol.blogspot.com.eg
[75] http://www.sankey-diagrams.com/tag/solar
[76] http://www.solar-repository.sg/solar-basics
[77] http://www.academia.edu/9005661/CALCULATIONS_OF_SOLAR_ENERGY_OUTPUT
[78] http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_energy_yield.php

**رقم الإيداع**

**بدار الكتب والوثائق القومية**

**١٦٨٢٨ / ٢٠١٦**

**OS PRESS**

المطبعة: ١ شارع أحمد سلام ، مدينة الأمل ، أمبابة ، جيزة

تليفون : ٠٢ ٣٥٨٥٢١٠٥